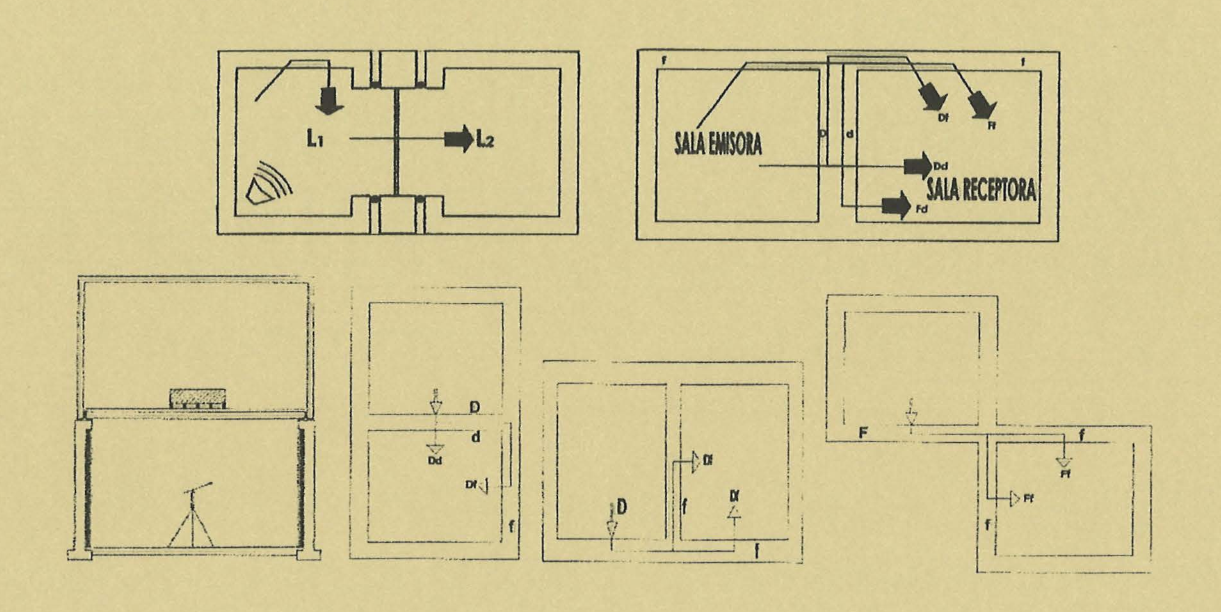
EL AISLAMIENTO ACÚSTICO Y SUS MAGNITUDES CARACTERÍSTICAS

por

CÉSAR DÍAZ SANCHIDRIÁN



CUADERNOS
DEL INSTITUTO
JUAN DE HERRERA
DE LA *ESCUELA DE*
ARQUITECTURA
DE MADRID

2-51-09

EL AISLAMIENTO ACÚSTICO Y SUS MAGNITUDES CARACTERÍSTICAS

por

CÉSAR DÍAZ SANCHIDRIÁN

CUADERNOS
DEL INSTITUTO
JUAN DE HERRERA
DE LA *ESCUELA DE*
ARQUITECTURA
DE MADRID

2-51-09

C U A D E R N O S
D E L I N S T I T U T O
J U A N D E H E R R E R A

NUMERACIÓN

2 Área
51 Autor
09 Ordinal de cuaderno (del autor)

0 VARIOS
1 ESTRUCTURAS
2 CONSTRUCCIÓN
3 FÍSICA Y MATEMÁTICAS
4 TEORÍA
5 GEOMETRÍA Y DIBUJO
6 PROYECTOS
7 URBANISMO
8 RESTAURACIÓN

El aislamiento acústico y sus magnitudes características

Instituto Juan de Herrera.
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
Composición y maquetación: Janaina Machado.
CUADERNO 294.01 / 2-51-09
ISBN-13: 978-84-9728-314-4
Depósito Legal: M- 42526 - 2009

ÍNDICE

EL AISLAMIENTO ACÚSTICO Y SUS MAGNITUDES CARACTERISTICAS

1- INTRODUCCIÓN

Para el estudio del aislamiento acústico es importante tener un conocimiento básico del sonido en los recintos y conocer que magnitudes son relevantes en la medida y predicción del aislamiento acústico entre recintos. Este tema se dedica al conocimiento y manejo de las magnitudes que son propias del aislamiento acústico a ruidos aéreos y de impactos. Con ello se pretende que los técnicos que intervienen en la edificación (arquitectos, aparejadores, ingenieros, etc.) tengan información de cómo se obtienen los datos de aislamientos a ruidos aéreos y de impactos de los elementos constructivos de acuerdo con las normas UNE EN ISO correspondientes y el DB HR Protección frente al ruido del CTE.

El aislamiento acústico tiene por objeto el proteger un ambiente acústico contra la penetración de sonidos no deseados, dificultando su propagación. El aislamiento acústico a ruido aéreo de un elemento constructivo o cerramiento que separa dos ambientes acústicos, se define como la capacidad de reducir la energía acústica que se propaga por vía aérea del ambiente acústico emisor al receptor. En este tema se definirán las magnitudes físicas que son relevantes en la medida y predicción del aislamiento acústico a ruido aéreo de sistemas constructivos, entre los recintos y las fachadas de los recintos y el aislamiento de los ruidos de impactos.

Según el medio en el que se produce el ruido, este se clasifica en *ruido aéreo*, cuando se genera en el aire (conversación entre personas, instrumentos musicales, ruido de tráfico, etc.) y *ruido estructural*, cuando se genera en un medio sólido (caída de un objeto sobre el suelo, poner un clavo en una pared, pisadas, maquinaria que vibra unida rígidamente a una superficie sólida, etc.). El *ruido de impacto* es un caso particular de ruido estructural.

La transmisión acústica desde el exterior a un recinto de un edificio, entre dos recintos, etc. se produce por diferentes caminos, los directos y los indirectos. *Las transmisiones directas* se realizan únicamente a través del elemento separador. Incluyen las transmisiones del sonido que incidiendo sobre el elemento separador es radiado por este al recinto receptor, y el ruido aéreo transmitido a través de huecos y rendijas en el mismo. Las transmisiones directas dependen básicamente del aislamiento acústico del elemento separador y de su superficie. *Las transmisiones indirectas*, se subdividen en *indirectas por vía sólida o transmisiones por flancos*, (paredes, techos, suelos) e *indirectas por vía aérea* (corredores, techos suspendidos, sistemas de ventilación, etc.). Las transmisiones indirectas dependen de la constitución de las paredes laterales y del tipo de ligazón con el elemento separador.

El sonido entre recintos contiguos se transmite de manera directa través de la pared separadora, camino Dd y por los caminos de flanco: Ff, Df, Fd. El aislamiento acústico a ruido aéreo entre los dos recintos dependerá de la cantidad de energía acústica transmitida por cada uno de los caminos (1 Dd; 4Fd; 4Df; 4Ff).

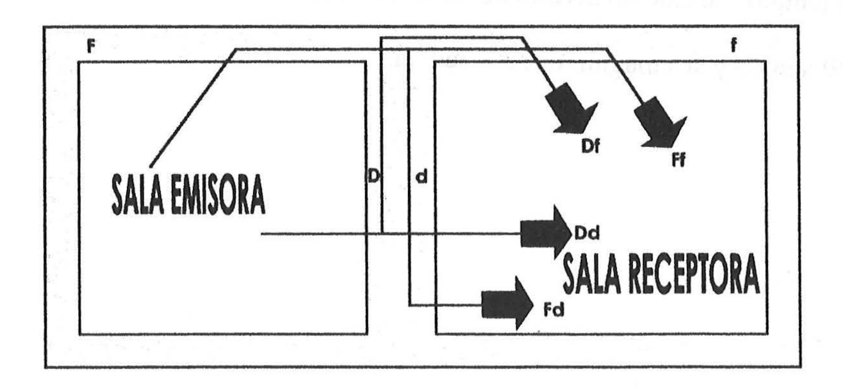


Figura 1: Caminos de transmisión acústica del ruido aéreo entre dos recintos.

En los edificios las transmisiones indirectas son importantes, y en algunos casos pueden ser predominantes. El aislamiento acústico entre dos recintos depende de las transmisiones del sonido por cada uno de los caminos de transmisión, su valor estará muy condicionado por el sistema constructivo de menor aislamiento acústico. Las transmisiones indirectas son tanto mayores cuanto más ligeros son los elementos constructivos adyacentes.

Los ruidos de impactos están producidos por una excitación mecánica de corta duración, (impulso mecánico), aplicado directamente sobre un elemento sólido. Cuando este impulso se produce sobre un elemento de la estructura de un edificio, se origina un ruido estructural que puede propagarse a grandes distancias en él. En los ruidos de impacto se comunica una cantidad de energía a una superficie pequeña, que se pone en vibración e irradia a otros locales por las paredes unidas entre sí. Al propagarse en un medio sólido su velocidad de propagación es mucho mayor que la de propagación de las ondas en el aire. La energía que se intercambia en los ruidos de impactos es mucho mayor que en los ruidos aéreos y en consecuencia es más difícil disminuir los niveles del ruido de impactos sin un tratamiento específico. Los ruidos de impacto generan vibraciones que se propagan a los recintos próximos por las paredes, techos y suelos. Estas vibraciones son de la misma naturaleza mecánica que los ruidos aéreos producidos en los recintos.

En el caso de los impactos la masa del elemento constructivo no es el factor más importante. Para disminuir el nivel de los ruidos de impacto, únicamente es necesario actuar sobre los recubrimientos del forjado o sobre un corte de los materiales.

Algunos códigos técnicos de la edificación diferencian entre impactos y vibraciones por su origen, los impactos son ruidos impulsivos y en las vibraciones se alcanza el estado estacionario. En ambos casos se estudian preferentemente los forjados, sobre los que actúan pisadas, golpes, desplazamientos de muebles, vibraciones de electrodomésticos. Otros focos importantes de ruidos estructurales son las instalaciones de climatización, de abastecimiento de agua, etc.

2.- MAGNITUDES QUE EXPRESAN EL AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO AÉREO.

Cuando las ondas sonoras inciden sobre un elemento constructivo, este vibra y transmite energía acústica de la misma frecuencia que el sonido incidente. La energía trasmitida por el elemento constructivo depende de la energía incidente y de las características del elemento. Dicho de otra forma, cuando las ondas sonoras inciden sobre el elemento constructivo con una energía E_i, parte de la energía es reflejada E_r, y el resto es absorbida E_a. La energía absorbida es en parte disipada en el elemento constructivo y el resto de la energía es transmitida.

$$E_i = E_r + E_a = E_r + E_d + E_t \qquad [1]$$

Se define el *coeficiente de transmisión sonora de un elemento constructivo* τ, en una frecuencia o banda de frecuencia, al cociente entre las potencia acústica transmitida a través del elemento y la potencia acústica incidente sobre el.

$$\tau(f,\theta) = \frac{W_{transmitida}}{W_{incidente}} \qquad [2]$$

El coeficiente de transmisión sonora es función de la frecuencia y del ángulo de incidencia θ, medido respecto a la normal a la superficie del elemento divisorio.

2.1.- MAGNITUDES QUE EXPRESAN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Las magnitudes que caracterizan las propiedades de aislamiento a ruido aéreo de un elemento constructivo se determinan en bandas de tercio de octava y de octava en ensayos realizados en laboratorio en cámaras normalizadas. El montaje se realiza de manera que se pueda garantizar que el sonido se transmite del recinto emisor al receptor a través del elemento constructivo objeto del ensayo.

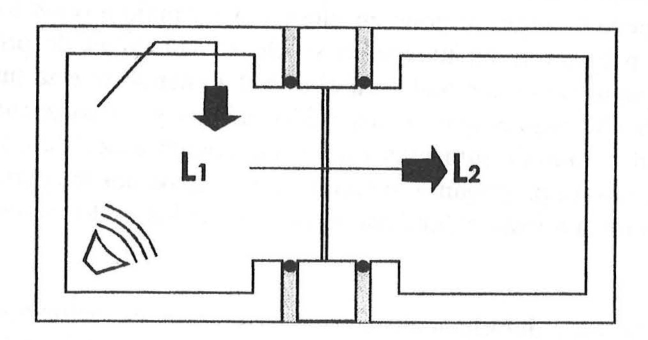


Figura 2: En los ensayos en laboratorio, el sonido se transmite del recinto emisor al receptor a través del sistema constructivo que los separa.

Índice de reducción acústica, R

Se define como diez veces el logaritmo decimal del cociente entre la potencia acústica W_1 incidente sobre un elemento constructivo objeto de ensayo y la potencia acústica transmitida a través del mismo W_2. Esta magnitud se designa por R, se expresa en decibelios y su valor varía con la frecuencia.

$$R = 10.\log\frac{1}{\tau} = 10.\lg\frac{W_1}{W_2} \quad dB \qquad [3]$$

En los países anglosajones al índice de reducción sonora R, se suele denominar, *perdidas por transmisión sonora*, TL.

Considerando que los campos acústicos en los recintos emisor y receptor son perfectamente difusos y que el sonido radiado al local receptor se ha transmitido a través de la muestra, se puede probar de acuerdo con la Norma UNE-EN-ISO 140-3: Medición en laboratorio del aislamiento acústico al ruido aéreo de los elementos de construcción, el índice de reducción sonora R se evalúa como

$$R = L_1 - L_2 + 10\lg\frac{S}{A} \quad dB \qquad [4]$$

donde: L_1 y L_2 son los niveles medios de presión sonora en los recintos emisor y receptor, expresados en dB; S, es el área de la muestra, en m^2; y A es el área de absorción acústica equivalente en el recinto receptor, en m^2.

El término de corrección de la ecuación anterior, se evalúa a partir del tiempo de reverberación medido de acuerdo con la Norma EN-ISO 354 y se determina utilizando la fórmula de Sabine del tiempo de reverberación:

$$A = \frac{0,16V}{T} \ \mathrm{m}^2 \qquad [5]$$

donde: A, es el área de absorción acústica equivalente, en m^2; V es el volumen del recinto receptor en m^3 y T es el tiempo de reverberación del recinto receptor en segundos.

Otro procedimiento alternativo es medir la potencia acústica transmitida al recinto receptor midiendo la intensidad acústica. Mediante este método se determina la intensidad acústica media transmitida sobre una superficie S_R. De acuerdo con la Norma ISO 15186-1. El método de intensidad únicamente necesita de un recinto emisor reverberante, en el recinto receptor, que no debe ser muy reverberante, el nivel de presión sonora promediado a través del elemento separador se mide con un analizador de intensidad.

Nota: El tiempo de reverberación en un recinto

Cuando una fuente sonora emite en un espacio cerrado, las ondas sonoras se propagan en todas las direcciones e inciden sobre las superficies interiores (paredes, techo, suelo), objetos, mobiliario, etc. Su comportamiento obedece a leyes que dependen principalmente de las características del sonido emitido y de la absorción acústica de los materiales y objetos sobre los que incide. En los diferentes lugares de un recinto, el sonido medido está formado por *sonido directo* emitido por la fuente y el sonido difundido por las superficies interiores del recinto y los objetos situados en su interior. El sonido que ha sufrido una o más reflexiones se llama *sonido reverberante*. El nivel de presión acústica del sonido directo depende de las características de la fuente sonora, (nivel de potencia, directividad) y de la distancia entre la fuente y el punto de medida.

Un recinto se llama anecoico, es decir sin ecos, si el sonido directo predomina en casi todos los puntos del recinto. Un recinto que se proyecta con este objetivo se llama *cámara anecoica* o cámara de campo libre, sus superficies interiores absorben todo el sonido que incide sobre ellas. Las *cámaras reverberantes* se diseñan de manera que el campo sonoro es reverberante en casi todo el recinto, sus superficies interiores deben reflejar todo el sonido que incide sobre ellas.

Se denomina *reverberación* al proceso de persistencia y disminución de la energía acústica en un espacio total o parcialmente cerrado, después que la fuente ha dejado de emitir, y está producida por las múltiples reflexiones de las ondas acústicas sobre las superficies interiores del recinto.

A finales del siglo XIX, W.C. Sabine definió el *tiempo de reverberación de un recinto*, T, en segundos, como el intervalo de tiempo que debe de transcurrir, para que la energía sonora se reduzca a la millonésima parte, después de que la fuente sonora deja de emitir. Equivale a que el nivel de presión acústica disminuye en 60 dB. El tiempo de reverberación está relacionado con factores que caracterizan al recinto: volumen, área de los paramentos, absorción de los mismos, intensidad del sonido al desconectar las fuentes, etc. Para cada frecuencia, o bandas de frecuencia existe un tiempo de reverberación del recinto. La fórmula de Sabine del tiempo de reverberación de un recinto, obtenida experimentalmente a finales del siglo XIX, es la siguiente:

$$T = \frac{0,16.V}{A} \quad s \qquad [6]$$

Donde: T es el tiempo de reverberación del recinto, medido en segundos; V es el volumen del recinto, en metros cúbicos, m^3 y A es el área de absorción acústica equivalente del recinto, en metros cuadrados, m^2.

La absorción acústica es un fenómeno físico consecuencia de la disipación de la energía acústica en energía calorífica. En un recinto esta disipación se puede producir mediante la propagación de las ondas acústicas en el aire y en la incidencia con los contornos del recinto (paredes, techo, suelo), o con las personas, objetos situados en su interior y la energía que se transmite al exterior. La absorción acústica total en un recinto es la suma de las absorciones acústicas debidas a las superficies interiores, $A_{superficie}$; mobiliario, $A_{mobiliario}$; aire, A_{aire} y personas situadas en su interior, $A_{personas}$.

$$A = A_{superficies} + A_{mobiliario} + A_{aire} + A_{personas} \quad [7]$$

2.2 MAGNITUDES QUE EXPRESAN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS RECINTOS.

De acuerdo con la Norma UNE-EN-ISO 140-4: Medición *in situ* del aislamiento al ruido aéreo entre locales, se definen las magnitudes siguientes:

Diferencia de niveles, D

Es la diferencia, en decibelios, del promedio espacio-temporal de los niveles de presión acústica producidos en los dos recintos para una o varias fuentes de ruido situadas en ellos:

$$D = L_1 - L_2 \quad dB \quad [8]$$

L_1 y L_2 son los niveles medios de presión sonora en los recintos emisor y receptor, respectivamente, expresados en dB. En general, si se intercambian los recintos emisor y receptor la diferencia de niveles D no es la misma. A esta magnitud a veces se le suele llamar aislamiento acústico bruto entre recintos. En general esta magnitud es función de la frecuencia.

Diferencia de niveles normalizada, D_n

Es la diferencia de niveles, en decibelios, correspondiente a un área de absorción de referencia en el recinto receptor:

$$D_n = L_1 - L_2 - 10\log\frac{A}{A_0} \quad dB \quad [9]$$

L_1 es el nivel medio de presión sonora en el recinto emisor; L_2, es el nivel medio de presión sonora en el recinto receptor; A es el área de absorción acústica equivalente del recinto receptor, en m^2; A_0, es el área de absorción acústica de referencia, en m^2, (para recintos en viviendas o recintos de tamaño comparable: $A_0 = 10\ m^2$).

Diferencia de niveles estandarizada, D_{nT}

Es la diferencia de niveles, en decibelios, correspondiente a un valor de referencia del tiempo de reverberación en el recinto receptor, se define mediante la expresión:

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10\lg\frac{T}{T_0} \quad dB \quad [10]$$

L_1 es el nivel medio de presión sonora en el recinto emisor; L_2, es el nivel medio de presión sonora en el recinto receptor; T es el tiempo de reverberación en el recinto receptor y T_0 es el tiempo de reverberación de referencia a todas las frecuencias; para viviendas, $T_0 = 0,5$ s.

La diferencia de niveles D; la diferencia de niveles normalizada D_n; y la diferencia de niveles estandarizada D_{nT}, en general, varían con la frecuencia del sonido.

Índice de reducción acústica aparente, R'

Es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre la potencia acústica W_1 incidente sobre la pared de ensayo y la potencia acústica total transmitida al recinto receptor si, además de la potencia sonora W_2 transmitida a través del elemento separador, es significativa la potencia sonora W_3 transmitida a través de elementos laterales o de otros componentes; se expresa en decibelios:

$$R' = 10.\lg \frac{W_1}{W_2 + W_3} \quad dB \qquad [11]$$

Supuestos los campos acústicos difusos en los recintos emisor y receptor, el índice de reducción sonora aparente R´, se evalúa como

$$R' = L_1 - L_2 + 10\lg \frac{S}{A} \quad dB \qquad [12]$$

donde: L_1 y L_2 son los niveles medios de presión sonora en los recintos emisor y receptor, expresados en dB; S, es el área de la superficie de separación entre los dos recintos, vista desde el recinto receptor, en m^2; y A es el área de absorción acústica equivalente en el recinto receptor, en m^2.

En el índice de reducción sonora aparente, la potencia sonora transmitida al recinto receptor está relacionada con la potencia sonora incidente sobre elemento constructivo común, con independencia de las condiciones reales de transmisión.

Si los dos recintos tienen la misma área de absorción acústica equivalente, el índice de reducción acústica aparente R´ es independiente del sentido de la transmisión. Si las áreas de absorción acústica equivalentes son diferentes, el índice de reducción acústica aparente es diferente según quien sea el recinto emisor o receptor. La misma fuente sonora emitiendo con el mismo nivel de potencia acústica se percibe de forma diferente según se encuentre situada en uno u otro recinto.

Relación entre los diversos índices

Las diferencias de niveles normalizada y estandarizada están relacionadas con el índice de reducción sonora aparente. En consecuencia al conocer una de las magnitudes anteriores se pueden deducir las otras. Se relacionan de la siguiente manera:

$$D_n = R' + 10.\lg \frac{A_0}{S} = R' + 10.\lg \frac{10}{S} \quad dB \qquad [13]$$

$$D_{nT} = R' + 10.\lg \frac{0,16V}{T_0 S} = R' + 10.\lg \frac{0,32V}{S} \quad dB \qquad [14]$$

V es el volumen del recinto receptor, en m^3.

La expresión [14] muestra la importancia que tiene el volumen del recinto receptor y el área de la superficie de separación común entre los dos recintos, la diferencia de niveles estandarizada es diferente según a quien se considere recinto emisor o receptor. Esto se aplica a recintos colindantes vertical u horizontalmente. Esto es de gran importancia práctica en la aplicación de la legislación española en la edificación: DB HR Protección frente al ruido del CTE.

Diferencia de nivel normalizada de un elemento, $D_{n,e}$.

Es la diferencia de nivel de presión acústica, promediada espacial y temporalmente, producida entre dos recintos, con una fuente sonora activa en uno de ellos, y debiéndose la transmisión acústica únicamente a un elemento constructivo pequeño (por ejemplo dispositivos de ventilación, cajón de persiana, conductos para cableado eléctrico, etc.). La magnitud $D_{n,e}$ se normaliza a un área de absorción acústica equivalente de referencia en el recinto receptor A_0 = 10 m^2. Esta magnitud se determina en laboratorio según la Norma UNE EN 20140 –10.

$$D_{n,e} = L_1 - L_2 - 10\lg\frac{A}{A_0} \quad dB \qquad [15]$$

A es el área de absorción acústica equivalente en el recinto receptor, en m^2.

2.3.- MAGNITUDES QUE EXPRESAN EL AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO AÉREO DE LAS FACHADAS

En las mediciones in situ del aislamiento global a ruido aéreo de fachadas se obtiene el índice de reducción acústica de una fachada en relación a una posición 2 m frente a la fachada. Los métodos globales, pretenden valorar la diferencia de nivel sonoro exterior/interior en las condiciones de tráfico existentes. Los métodos globales más precisos usan el ruido de tráfico como fuente de ruido. Adicionalmente se puede usar un altavoz como fuente sonora artificial. Según la Norma EN ISO 140-5: Mediciones in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de fachada y de fachadas, se utilizan las magnitudes siguientes:

Diferencia de niveles, D_{2m}

Es la diferencia, en decibelios, entre el nivel de presión sonora exterior a 2 m frente a la fachada, $L_{1,2m}$ y el valor medio espacio-temporal del nivel de presión sonora L_2, en el interior del local receptor:

$$D_{2m} = L_{1,2m} - L_2 dB \qquad [16]$$

Diferencia de niveles normalizada, $D_{2m,n}$

Es la diferencia de niveles, en decibelios, correspondiente a un área de absorción de referencia en el recinto receptor:

$$D_{2m,n} = L_{1,2m} - L_2 - 10\log\frac{A}{A_0} \quad dB \qquad [17]$$

A es el área de absorción acústica equivalente del recinto receptor, en m^2; A_0, = 10 m^2 es el área de absorción acústica equivalente de referencia.

Diferencia de niveles estandarizada, $D_{2m,nT}$

Es la diferencia de niveles, en decibelios, correspondiente a un valor de referencia del tiempo de reverberación en el recinto receptor, se define mediante la expresión:

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10\lg\frac{T}{T_0} \quad dB \qquad [18]$$

D_{2m} es la diferencia de niveles; T es el tiempo de reverberación en el recinto receptor y T_0 es el tiempo de reverberación de referencia; $T_0 = 0,5$ s.

Nota: Según el tipo de fuente del ruido (tráfico, trenes, aeronaves o altavoces) en la notación se antepone un subíndice. Por ejemplo para ruido de tráfico $D_{tr,2m,nT}$, si se usa un altavoz será $D_{ls,2m,nT}$. La notación es semejante para las otras magnitudes. En la práctica $D_{tr,2m,nT} \approx D_{ls,2m,nT}$ dB.

MÉTODO	RESULTADO	CAMPO DE APLICACIÓN
Global con ruido de tráfico	$D_{tr,\,2m,\,nT}$ $D_{tr,2m,n}$	Método preferido para valorar el índice de reducción sonora de una fachada expuesta al ruido de tráfico.
Global con ruido de trenes	$D_{rt,\,2m,\,nT}$ $D_{rt,\,2m,n}$	Método preferido para valorar el índice de reducción sonora de una fachada expuesta al ruido de trenes.
Global con ruido de aeronaves	$D_{at,2m,nT}$ $D_{at,2m,n}$	Método preferido para valorar el índice de reducción sonora de una fachada expuesta al ruido de aeronaves.
Global con altavoz	$D_{ls,\,2m,nT}$ $D_{ls,\,2m,n}$	Método alternativo a los tres anteriores.

Tabla 1: Métodos de medición global del aislamiento a ruido aéreo de fachadas.

Debido a su uso, conviene recordar la definición del nivel medio de presión acústica en un recinto;

Nivel medio de presión acústica en un recinto, L_{av}.

Es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el promedio espacio-temporal de los cuadrados de las presiones sonoras y el cuadrado de la presión sonora de referencia, tomándose el promedio espacial en todo el recinto, con excepción de las zonas en las que la radiación directa de la fuente o el campo próximo de las paredes, el techo, etc., tienen una influencia significativa, se expresa en decibelios.

$$L_{av} = 10.\log\left(\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}10^{0,1L_j}\right) \quad dB \qquad [19]$$

donde L_j son los niveles de presión sonora L_1 a L_n en n posiciones diferentes dentro del recinto.

A veces se suelen expresar los resultados del aislamiento acústico en bandas de octava, calculados a partir de los resultados en tercio de octava. La forma de realizarlo es la siguiente: en cada banda de octava se usan los tres tercios de octava comprendidos en la misma, mediante la expresión

$$X_{oct} = -10\log\left(\sum_{n=1}^{3}\frac{10^{-0,1X_{1/3oct}}}{3}\right) \qquad [20]$$

donde X es la magnitud utilizada.

3.- INDICES GLOBALES DE VALORACIÓN DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO AÉREO.

Al ser el aislamiento acústico de un elemento constructivo función de la frecuencia, hay que suministrar un gran número de datos. En acústica de los edificios las frecuencias de interés están entre las bandas de tercio de octava de frecuencias centrales de 100 a 5000 Hz. En España, los datos del aislamiento acústico se realizan en 18 bandas de 1/3 de octava.

Para simplificar el proceso de cálculo se han realizado estudios con fuentes de ruidos típicas en viviendas para obtener índices de valoración globales de una cifra, que especifican de forma efectiva las características de aislamiento acústico en laboratorio de los sistemas constructivos o in situ del aislamiento acústico entre recintos. De ésta forma se simplifica el establecimiento de valores exigenciales en las normativas. Estos índices globales tienen en cuenta las características físicas del ruido y aspectos perceptivos, básicamente de la molestia que producen. Se utilizan en el estudio del aislamiento acústico de ruido aéreo y de ruido de impactos.

Los métodos más utilizados en los países de nuestro entorno, para incluir un índice global de valoración del aislamiento acústico a ruido aéreo son los siguientes:

1) ***Los índices globales ponderados A,*** se utilizan habitualmente en Francia y España. El rango de frecuencias de interés está en las bandas de un tercio de octava de frecuencias centrales entre 100 Hz y 5 kHz. Los resultados se expresan en decibelios ponderados A, dBA. Se suelen representar R_A, D_{nTA}, R_{Atr}, D_{nTAtr}, etc.

2) ***Los índices ponderados determinados según los procedimientos de la Norma UNE-EN ISO 717-1.*** Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento al ruido aéreo. Se basan en la comparación de la curva de aislamiento obtenida con una curva de referencia. Son los índices más utilizados. El rango de frecuencias para su cálculo es habitualmente entre 100 Hz y 3150 Hz para bandas de frecuencia de tercio de octava y de 125 Hz a 2000 Hz para bandas de octava. El resultado es un número entero y se expresa en dB. El procedimiento para la evaluación de magnitudes globales es el mismo para todas ellas.

El índice global ponderado de aislamiento acústico es el valor en dB, a 500 Hz de la curva de referencia una vez ajustada a los valores experimentales según el método especificado en la Norma UNE-EN ISO 717- 1. Existen magnitudes globales de las propiedades globales de aislamiento al ruido aéreo de elementos de construcción, como por ejemplo el índice ponderado de reducción sonora R_w y magnitudes globales del aislamiento al ruido aéreo entre recintos tales como: índice ponderado de reducción sonora aparente R'_w ; Diferencia de nivel estandarizada ponderada $D_{nT,w}$; Diferencia de nivel normalizada ponderada $D_{n,w}$, etc.

El índice global del aislamiento acústico de un elemento de construcción o entre recintos depende del espectro acústico de la fuente de ruido emisora. En consecuencia se añade al índice global ponderado un término de adaptación al espectro.

Término de adaptación al espectro: Es el valor, en dB, que ha de añadirse al valor de la magnitud global para tener en cuenta las características de un espectro de ruido particular.

Por ejemplo, es habitual utilizar para caracterizar el comportamiento acústico de un elemento constructivo en laboratorio el índice global $R_w (C; C_{tr})$, donde
- R_w es el índice ponderado de reducción sonora, en dB.

- C, término de corrección para ruido rosa ponderado A. Se utiliza en el caso de fuentes de ruido con pocas bajas frecuencias, por ejemplo: actividades humanas (conversación, música, radio, televisión, juegos de niños), trenes a velocidades medias y altas, autopistas a velocidades mayores de 80 km/h, aviones a reacción a distancias cortas, factorías que emiten ruido de frecuencias medias y altas.
- C_{tr}, término de corrección para ruido de tráfico urbano ponderado A, se utiliza en el caso de fuentes de ruido con predominio de bajas frecuencias, por ejemplo: tráfico urbano, trenes a velocidades bajas, aviones a propulsión, aviones a reacción a grandes distancias, música de discotecas, factorías que emiten ruido en frecuencias bajas y medias.

Cuanto más elevados sean R_w, $R_w + C$, $R_w + C_{tr}$, mayor será el aislamiento acústico a ruido aéreo del elemento constructivo. Por ejemplo: R_W (C, C_{tr}) = 48 (-4, -8) dB, significa que el índice ponderado de reducción sonora R_w es 48 dB, que con ruido rosa ponderado A se reduce en 4 dB, y con tráfico se reduce en 8 dB.

Nota: Cuando se utiliza la Norma UNE-EN ISO 717-1 el rango de frecuencias utilizado en tercios de octava es entre 100 a 3150 Hz. Se puede utilizar un rango de frecuencias ampliado, que tiene que indicarse en los índices C y C_{tr} , el rango ampliado varía entre las bandas de frecuencia centrales de 50 Hz y 5 kHz. Por ejemplo en el DB HR Protección frente al ruido del Código Técnico de la Edificación en España, el rango de frecuencias varía de 100 a 5000 Hz. En este caso:

$$R_A = R_w + C_{100\text{-}5000}; \qquad D_{2m,nT,Atr} = D_{2m,nT,w} + C_{tr,100\text{-}5000}$$

3) **Índice de Clase de Transmisión Sonora (STC).** La sociedad estadounidense para ensayo de materiales (ASTME) ha especificado un procedimiento conocido por Clase de Transmisión Sonora (STC). Se obtiene a partir de la comparación de la curva de las perdidas de transmisión con una curva de referencia. Las medidas se realizan en las 16 bandas de tercio de octava centradas entre 125 y 4000 Hz. Para el ajuste se deben de cumplir unos requisitos sobre las máximas desviaciones respecto a la curva de referencia. Este procedimiento es el habitual en Estados Unidos. Cuando las mediciones acústicas se realizan en edificios el índice se denomina Clase de Transmisión Sonora de Campo, (FSTC).

3.1.- ÍNDICES GLOBALES PONDERADOS A, SEGÚN EL DB HR PROTECCIÓN FRENTE AL RUIDO DEL CTE

Según la terminología de este documento se definen:

- **Índice global de reducción acústica ponderado A, de un elemento constructivo, R_A**: Valoración global, en dBA, del índice de reducción acústica R, para un ruido incidente rosa normalizado, ponderado A. A partir de los valores del índice de reducción acústica R, obtenidos mediante ensayo en laboratorio, este índice se define:

$$R_A = -10.\lg \sum_{i=1}^{n} 10^{(L_{Ar,i} - R_i)/10} \quad [dBA] \qquad [21]$$

R_i es el valor del índice de reducción acústica en la banda de frecuencia i, en dB; $L_{Ar,i}$ valor del espectro del ruido rosa, ponderado A, en la banda de frecuencia i, en dBA; i recorre todas las bandas de frecuencia de tercio de octava de 100 Hz a 5 kHz.

- **Índice global de reducción acústica aparente, ponderado A, de un elemento constructivo, R'_A**: Valoración global, en dBA, del índice de reducción acústica aparente R′, para un ruido incidente rosa normalizado, ponderado A. Se define mediante la expresión siguiente

$$R'_A = -10.\lg \sum_{i=1}^{n} 10^{(L_{Ar,i} - R'_i)/10} \quad [dBA] \qquad [22]$$

R'_i es el valor del índice de reducción acústica en la banda de frecuencia i, en dB; $L_{Ar,i}$ valor del espectro del ruido rosa, ponderado A, en la banda de frecuencia i, en dBA; i recorre todas las bandas de frecuencia de tercio de octava de 100 Hz a 5 kHz.

- **Índice global de reducción acústica ponderado A, para ruido exterior dominante de automóviles, R_{Atr}**: Valoración global, en dBA, del índice de reducción acústica R, para un ruido exterior de automóviles. Se define:

$$R_{Atr} = -10.\lg \sum_{i=1}^{n} 10^{(L_{Atr,i}-R_i)/10} \quad [dBA] \qquad [23]$$

R_i es el valor del índice de reducción acústica en la banda de frecuencia i, en dB; $L_{Atr,i}$ valor del espectro normalizado del ruido de automóviles, ponderado A, en la banda de frecuencia i, en dBA; i recorre todas las bandas de frecuencia de tercio de octava de 100 Hz a 5 kHz.

- **Aislamiento acústico a ruido aéreo**: Diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, en dBA, entre el recinto emisor y el receptor.
- Para recintos interiores se utiliza el índice $D_{nT,A}$.
- Para recintos en los que alguno de sus cerramientos constituye una *fachada* o una *cubierta* en las que el *ruido exterior dominante* es el de automóviles o el de aeronaves, se utiliza el índice $D_{2m,nT,Atr}$.
- Para recintos en los que alguno de sus cerramientos constituye una *fachada* o una *cubierta* en las que el *ruido exterior dominante* es el de tráfico ferroviario o el de estaciones ferroviarias, se utiliza el índice $D_{2m,nT,A}$.

- **Diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, en fachadas, en cubiertas y en suelos en contacto con el aire exterior para ruido de automóviles, $D_{2m,nT,Atr}$**: Valoración global, en dBA, de la diferencia de niveles estandarizada de una fachada, de una cubierta o un suelo en contacto con el aire exterior, $D_{2m,nT}$, para un ruido exterior de automóviles.
Se define mediante la expresión:

$$D_{2m,nT,Atr} = -10.\lg \sum_{i=1}^{n} 10^{(L_{Atr,i}-D_{2m,nT,i})/10} \quad [dBA] \qquad [24]$$

$D_{2m,nT,i}$ la diferencia de niveles estandarizada, en la banda de frecuencia i, [dB];
$L_{Atr,i}$ el valor del espectro normalizado del ruido de automóviles, ponderado A, en la banda de frecuencia i, en dBA; i recorre todas las bandas de frecuencia de tercio de octava de 100 Hz a 5kHz. En caso de ruido predominante de aeronaves también se utilizará este índice para la valoración global, pero usando los valores del espectro normalizado de ruido de aeronaves, ponderado A.

- **Diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, en fachadas, en cubiertas y en suelos en contacto con el aire exterior, $D_{2m,nT,A}$**: Valoración global, en dBA, de la diferencia de niveles estandarizada de una fachada, de una cubierta o un suelo en contacto con el aire exterior, $D_{2m,nT}$, para ruido rosa.
Se define mediante la expresión:

$$D_{2m,nT,A} = -10.\lg \sum_{i=1}^{n} 10^{(L_{Ar,i}-D_{2m,nT,i})/10} \quad [dBA] \qquad [25]$$

$D_{2m,nT,i}$ la diferencia de niveles estandarizada, en la banda de frecuencia i, [dB];
$L_{Ar,i}$ el valor del espectro normalizado del ruido rosa, ponderado A, en la banda de frecuencia i, en dBA; i recorre todas las bandas de frecuencia de tercio de octava de 100 Hz a 5kHz.
En caso de que el ruido exterior dominante sea el ferroviario o el de estaciones ferroviarias también se utilizará este índice para la valoración global, pero usando los valores del espectro normalizado de ruido ferroviario o de estaciones ferroviarias, ponderado A.

- Diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, entre recintos interiores, $D_{nT,A}$: Valoración global, en dBA, de la diferencia de niveles estandarizada, entre recintos interiores, D_{nT}, para ruido rosa.
Se define mediante la expresión:

$$D_{nT,A} = -10.\lg \sum_{i=1}^{n} 10^{(L_{Ar,i} - D_{nT,i})/10} \quad [dBA] \qquad [26]$$

$D_{nT,i}$ es la diferencia de niveles estandarizada, en la banda de frecuencia i, [dB]; $L_{Ar,i}$ el valor del espectro normalizado del ruido rosa, ponderado A, en la banda de frecuencia i, en dBA; i recorre todas las bandas de frecuencia de tercio de octava de 100 Hz a 5kHz.

- Espectros normalizados de ruido, ponderado A.
Es la representación en forma numérica, de los valores de la presión sonora, ponderados A, correspondientes a ruidos rosa, de automóviles, de aeronaves y de ruido ferroviario o de estaciones ferroviarias en las frecuencias en bandas de tercios de octava. Los espectros normalizados son los siguientes:

Frecuencia central f_i, Hz	Espectro normalizado del ruido rosa, ponderado A, $L_{Ar,i}$, dBA	Espectro normalizado del ruido de automóviles, ponderado A, $L_{Atr,i}$, dBA	Espectro normalizado del ruido de aeronaves, ponderado A, $L_{Aav,i}$, dBA	Espectro normalizado del ruido ferroviario o de estaciones ferroviarias, ponderado A $L_{Aef,i}$ dBA
100	-30,1	-20	-23,8	-27,9
125	-27,1	-20	-20,2	-26,8
160	-24,4	-18	-15,4	-20,4
200	-21,9	-16	-13,1	-22,3
250	-19,6	-15	-12,6	-17,9
315	-17,6	-14	-10,4	-15,8
400	-15,8	-13	-9,8	-11
500	-14,2	-12	-9,5	-13,2
630	-12,9	-11	-8,7	-11,7
800	-11,8	-9	-9,5	-9,3
1.000	-11	-8	-10,5	-8,7
1.250	-10,4	-9	-11,0	-7,3
1.600	-10	-10	-12,5	-8,6
2.000	-9,8	-11	-14,9	-10,7
2.500	-9,7	-13	-15,9	-13,9
3.150	-9,8	-15	-18,6	-16,7
4.000	-10	-16	-23,3	-17,9
5.000	-10,5	-18	-29,9	-21,1

Tabla 2: Espectros normalizados de ruido.

3.2 – PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LAS MAGNITUDES GLOBALES DE LAS PROPIEDADES DE AISLAMIENTO A RUIDO AÉREO DE ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN Y EN EDIFICIOS, SEGÚN LA NORMA UNE-EN ISO 717-1. EVALUACIÓN DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO EN LOS EDIFICIOS Y DE LOS ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN. PARTE 1: AISLAMIENTO AL RUIDO AÉREO.

Es el método más difundido, se basa en la comparación de una curva de aislamiento obtenida con curva tipo, siguiendo un determinado procedimiento. Mediante este se consigue que la dependencia de la frecuencia del aislamiento a ruido aéreo se transforme en un único número. Los métodos de medición del aislamiento al ruido aéreo de elementos de construcción y en edificios han sido normalizados en las Normas Internacionales ISO 140 partes 3, 4, 5, 9 y 10. La ISO 717-1 tiene por objetivo normalizar un método por el cual la dependencia en función de la frecuencia del aislamiento a ruido aéreo pueda convertirse en un solo número que caracterice el aislamiento acústico y simplificar la formulación de los requisitos acústicos en los códigos de la edificación.

Para la aplicación de la ISO 717-1, se utilizan los términos definidos anteriormente tales como: Magnitud global para la valoración del aislamiento al ruido aéreo y Término de adaptación al espectro.

Procedimiento para la evaluación de las magnitudes globales

Es el mismo para todas ellas. Para valorar los resultados conforme a las Normas ISO 140 en bandas de un tercio de octava o de octava, con precisión de 0,1 dB, se desplaza la curva de referencia, Tabla 3, en saltos de 1 dB hacia la curva medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible pero no mayor de 32,0 dB, para mediciones en 16 bandas de tercio de octava, o 10,0 dB, para mediciones en 5 bandas de octava.

Se produce una desviación desfavorable en una determinada banda de frecuencia cuando el resultado de las mediciones es inferior al valor de la curva de referencia desplazada. Únicamente se consideran las desviaciones desfavorables.

El valor, en dB, de la curva de referencia en la banda de 500 Hz, después del desplazamiento, de acuerdo con el procedimiento anterior es el índice global ponderado (R_w, $D_{nT,w}$, etc.).

El rango de frecuencias de la curva de referencia y de la de medición está entre 100 y 3150 Hz en bandas de tercio de octava y de 125 a 2000 Hz para bandas de octava. El rango de frecuencias puede ampliarse entre 50 y 5000 Hz.

Frecuencia, Hz	Valores de referencia, dB	
	Bandas de tercio de octava	Bandas de octava
100	33	
125	36	36
160	39	
200	42	
250	45	45
315	48	
400	51	
500	52	52
630	53	
800	54	
1000	55	55
1250	56	
1600	56	
2000	56	56
2500	56	
3150	56	

Tabla 3: Valores de referencia para aislamientos a ruido aéreo:

En la figura 3 se representan los valores de la curva de referencia usados para comparar con los resultados de la medición, para aislamiento al ruido aéreo, en bandas de tercio de octava.

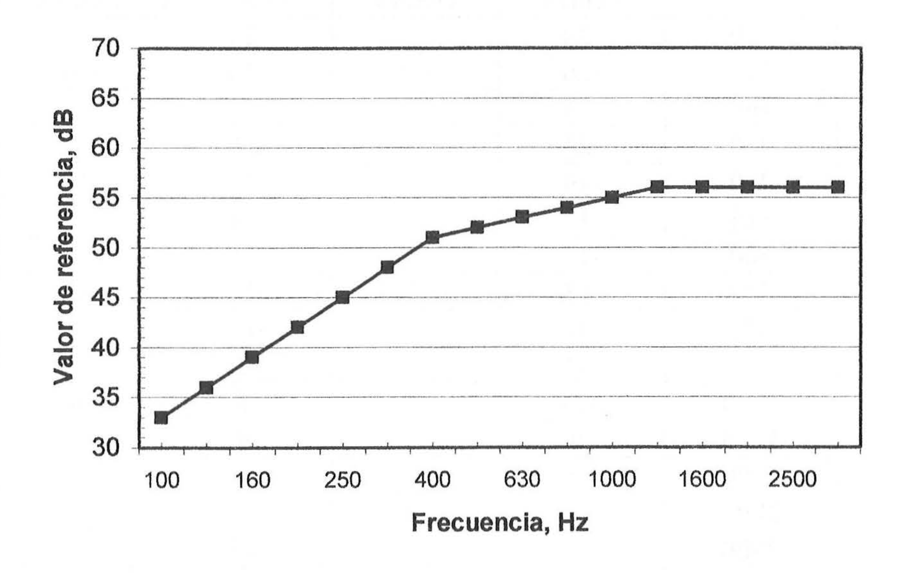


Figura 3: Valores de la curva de referencia en tercios de octava.

- Cálculo de los términos de adaptación espectral

Los términos de adaptación espectral, C_j, deben calcularse con los espectros sonoros dados en las Tablas 4 o 5 según el rango de frecuencias utilizado, mediante la ecuación:

$$C_j = X_{Aj} - X_w \text{ dB} \qquad [27]$$

donde

j, es el índice de los espectros sonoros C, C_{tr}

X_w , es el valor del índice global calculado a partir de R, R', D_n, D_{nT}

X_{Aj} se calcula a partir de la expresión

$$X_{Aji} = -10\log\sum 10^{0,1(L_{ij}-X_i)} \quad dB \qquad [28]$$

donde

i es el índice para las bandas de tercio de octava, o para las bandas de octava.

L_{ij} son los niveles a la frecuencia i para el espectro j

X_i es R_i , o R'_i , o $D_{n,i}$, o $D_{nT,i}$, a la frecuencia de medida i dada expresado con una cifra decimal. Según la Norma UNE-EN ISO 717:1997/A1:2007 el redondeo se realiza de la siguiente forma: la cantidad XX,YZZ.., se redondea a XX si Y< 0,5, a XX+1 si Y ≥ 0,5.

Se calcula el término de adaptación espectral con precisión de 0,1 dB y se redondea al número entero más próximo. Por ejemplo para R_w, los términos de adaptación se obtienen mediante las siguientes ecuaciones:

$$C = -10.\log\left(\sum_{i=1}^{N} 10^{0,1(L_{i,1}-R_i)}\right) - R_w \text{ dB} \quad ; \quad C_{tr} = -10.\log\left(\sum_{i=1}^{N} 10^{0,1(L_{i,2}-R_i)}\right) - R_w \text{ dB}$$

Frecuencia, Hz	Niveles sonoros L_{ij}, dB			
	Espectro para calcular C		Espectro para calcular C_{tr}	
	Tercio de octava	Octava	Tercio de octava	Octava
100	-29		-20	
125	-26	-21	-20	-14
160	-23		-18	
200	-21		-16	
250	-19	-14	-15	-10
315	-17		-14	
400	-15		-13	
500	-13	-8	-12	-7
630	-12		-11	
800	-11		-9	
1000	-10	-5	-8	-4
1250	-9		-9	
1600	-9		-10	
2000	-9	-4	-11	-6
2500	-9		-13	
3150	-9		-15	

Nota: Todos los niveles están ponderados A y el nivel global de espectro normalizado a 0 dB.

Tabla 4: Espectros de nivel sonoro para calcular los términos de adaptación del espectro de 100 a 3150 Hz.

Para las mediciones in situ de acuerdo con las Normas ISO 140-4 o 5, se debe indicar si los resultados globales se expresan en octavas o tercios de octava. Es habitual encontrar diferencias de ± 1 dB.

Frecuencia, Hz	Niveles sonoros L_{ij}, dB			
	Espectro para calcular $C_{100-5000}$		Espectro para calcular $C_{tr,100-5000}$	
	Tercio de octava	Octava	Tercio de octava	Octava
100	-30		-20	
125	-27	-22	-20	-14
160	-24		-18	
200	-22		-16	
250	-20	-15	-15	-10
315	-18		-14	
400	-16		-13	
500	-14	-9	-12	-7
630	-13		-11	
800	-12		-9	
1000	-11	-6	-8	-4
1250	-10		-9	
1600	-10		-10	
2000	-10	-5	-11	-6
2500	-10		-13	
3150	-10		-15	
4000	-10	-5	-16	-11
5000	-10		-18	

Nota: Todos los niveles están ponderados A y el nivel global del espectro está normalizado a 0 dB.

Tabla 5: Espectros de nivel sonoro para calcular los términos de adaptación del espectro.

4.- EJEMPLOS DE CÁLCULO DE AISLAMIENTO A RUIDO AÉREO

En este apartado se realizan varios ejemplos de cálculo de diferentes magnitudes acústicas de acuerdo con la Normas UNE-EN ISO correspondientes y el DB HR Protección frente al ruido del CTE.

EJERCICIO 1

El índice de reducción acústica R de un vidrio monolítico de espesor 6 mm es el siguiente. (UNE-EN-ISO 140-3).

Frecuencia central, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
R, dB	18	23	30	35	27	32

Calcúlese el índice ponderado de reducción acústica $R_w(C;C_{tr})$ de acuerdo con la UNE-EN ISO 717-1.

SOLUCIÓN

Índice ponderado de reducción sonora R_w

Se desplaza la curva de referencia en saltos de 1 dB hacia la curva medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea la mayor posible, pero no mayor de 10 dB. Una desviación es desfavorable en una banda cuando (Valor curva de ref + Desplazamiento – R_i) > 0.

(d) Desplazamiento de la curva de referencia: -21dB								
Frec. , Hz	**(a)** C.R, dB	**(b)** R, dB	**a+d-b** dB	Desv. Desf. dB	Espectro 1 para C L_{i1}, dB	$L_{i1}-$ **b_i** dB	Espectro 2 para C_{tr} L_{i2}, dB	$L_{i2}-$ **b_i** dB
125	36	18	-3,0	-	-21	-39,0	-14	-32,0
250	45	23	1,0	1,0	-14	-37,0	-10	-33,0
500	52	30	1,0	1,0	-8	-38,0	-7	-37,0
1000	55	35	-1,0	-	-5	-40,0	-4	-39,0
2000	56	27	8,0	8,0	-4	-31,0	-6	-33,0
		S. D.D = 10≤ 10 dB $D_{nT,w}$ = 52-21 = 31 dB			$X_{A1} = -10.\lg(\sum 10^{0,1(L_{ij}-b_i)})$ dB X_A = 28,6 C = 29– 31= -2 dB		$X_{A2} = -10.\lg(\sum 10^{0,1(L_{i2}-b_i)})$ dB X_{A2} = 27,4 C_{tr} = 27 – 31 = -4 dB	
$D_{nT,w}(C;C_{tr})$ = 31(-2;-4) dB								

EJERCICIO 2

Se han realizado los ensayos de aislamiento a ruido aéreo in situ entre dos dormitorios. Los resultados experimentales promedios obtenidos mediante la aplicación de la Norma UNE-EN ISO 140-4 son los siguientes

Frecuencia, Hz	L_1 , dB	L_2 , dB	T_2 , s
125	69,1	34,0	0,63
250	71,2	38,1	0,36
500	82,7	45,2	0,29
1.000	81,3	38,1	0,28
2.000	83,8	36,4	0,28
4.000	78,5	25,5	0,31

El nivel de presión sonora en ambos locales se ha medido utilizando filtros de octava. L_1 y L_2 son los valores de los niveles de presión sonora promedios en las salas emisora y receptora respectivamente, T_2 es el tiempo de reverberación promedio en la sala receptora. El nivel de ruido de fondo promedio en la sala receptora es muy inferior a L_2 Calcúlese la diferencia de nivel estandarizada ponderada $D_{nT,w}(C;C_{tr})$ de acuerdo con la UNE-EN ISO 717-1.

SOLUCIÓN

Diferencia de niveles estandarizada D_{nT}

Al sustituir los valores medidos en la expresión de la definición de la diferencia de niveles estandarizada $D_{nT} = L_1 - L_2 + 10\lg\frac{T}{0,5}$ dB ; se obtiene

Frecuencia, Hz	D_{nT}, dB
125	36,1
250	31,7
500	35,1
1000	40,7
2000	44,9
4000	50,9

Diferencia de nivel estandarizada ponderada $D_{nT,w}$

Se desplaza la curva de referencia en saltos de 1 dB hacia la curva medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea la mayor posible, pero no mayor de 10 dB. Una desviación es desfavorable en una banda cuando (Valor curva de referencia+ Desplazamiento - D_{nT}) > 0.

(d) Desplazamiento de la curva de referencia: -12 dB								
Frec., Hz	**(a)** C.R, dB	**(b)** D_{nT}, dB	**a+d-b** dB	Desv. Desf. dB	Espectro 1para C L_{i1}, dB	L_{i1}– b_i dB	Espectro 2 para C_{tr} L_{i2}, dB	L_{i2}– b_i dB
125	36	36,1	-12,1	-	-21	-57,1	-14	-50,1
250	45	31,7	1,3	1,3	-14	-45,7	-10	-41,7
500	52	35,1	4,9	4,9	-8	-43,1	-7	-42,1
1000	55	40,7	2,3	2,3	-5	-45,7	-4	-44,7
2000	56	44,9	-0,9	-	-4	-48,9	-6	-50,9
	S. D.D = 8,5 < 10 dB $D_{nT,w}$ = 52-12 = 40 dB				$X_{A1} = -10.\lg(\sum 10^{0,1(L_{ij}-b_i)})$ dB X_A = 39,3 C = 39 – 40= -1 dB		$X_{A2} = -10.\lg(\sum 10^{0,1(L_{i2}-b_i)})$ dB X_{A2} = 37,4 C_{tr} = 37 – 40 = -3 dB	
$D_{nT,w}(C;C_{tr})$ = 40(-1; -3) dB								

EJERCICIO 3

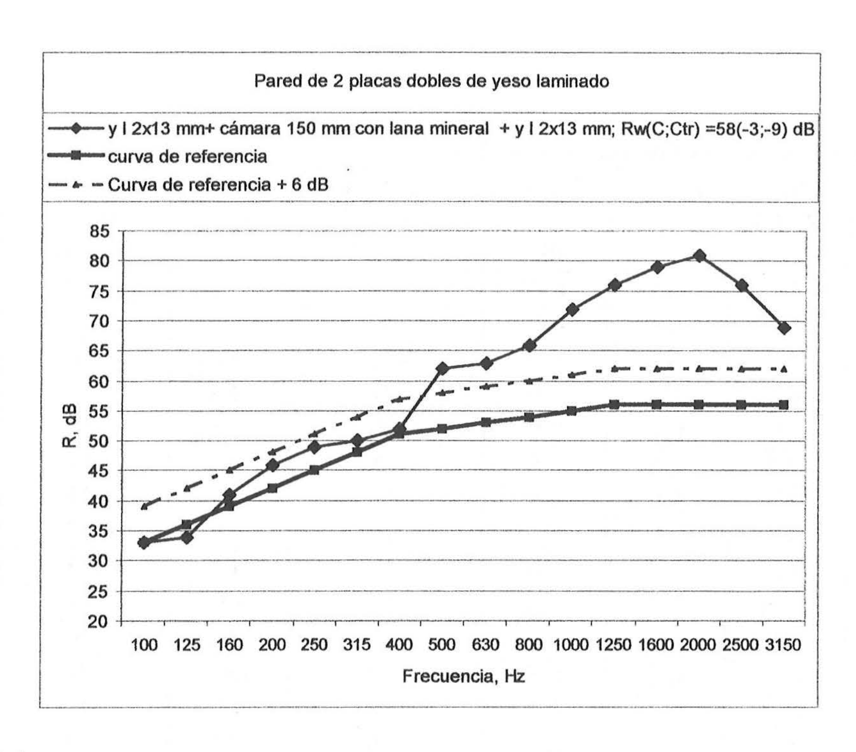
El índice de reducción acústica R de un sistema constructivo formado por placas de de yeso laminado de 2x13 mm, cámara con lana mineral de espesor 150 mm y placas de de yeso laminado de 2x13 mm es el que se muestra en la tabla siguiente.

Frecuencia, Hz	R, dB
100	33
125	34
160	41
200	46
250	49
315	50
400	52
500	62
630	63
800	66
1000	72
1250	76
1600	79
2000	81
2500	76
3150	69

Calcular el índice de reducción acústica ponderado $R_w(C;C_{tr})$ según la UNE-EN ISO 717-1.

SOLUCIÓN

(d) Desplazamiento de la curva de referencia: +6 dB								
Frec. , Hz	**(a)** C.R, dB	**(b)** R, dB	**a+d-b** dB	Desv. Desf. dB	Espectro 1para C L_{i1}, dB	$L_{i1}-$ **b_i** dB	Espectro 2 para C_{tr} L_{i2}, dB	$L_{i2}-$ **b_i** dB
100	33	33	6,0	-	-29	-62,0	-20	-53,0
125	36	34	8,0	-	-26	-60,0	-20	-54,0
160	39	41	4,0	-	-23	-64,0	-18	-59,0
200	42	46	2,0	-	-21	-67,0	-16	-62,0
250	45	49	2,0	-	-19	-68,0	-15	-64,0
315	48	50	4,0	-	-17	-67,0	-14	-64,0
400	51	52	5,0	-	-15	-67,0	-13	-65,0
500	52	62	-4,0	-4,0	-13	-75,0	-12	-74,0
630	53	63	-4,0	-4,0	-12	-75,0	-11	-74,0
800	54	66	-6,0	-6,0	-11	-77,0	-9	-75,0
1000	55	72	-11,0	-11,0	-10	-82,0	-8	-80,0
1250	56	76	-14,0	-14,0	-9	-85,0	-9	-85,0
1600	56	79	-17,0	-17,0	-9	-88,0	-10	-89,0
2000	56	81	-19,0	-19,0	-9	-90,0	-11	-92,0
2500	56	76	-14,0	-14,0	-9	-85,0	-13	-89,0
3150	56	69	-7,0	-7,0	-9	-78,0	-15	-84,0
		S. D.D = 31 < 32 dB $R_{,w}$ = 52+ 6 = 58 dB			$X_{A1} = -10.\lg(\sum 10^{0,1(L_{ij}-b_i)}$ dB X_A = 55,4 C = 55 –58 C = - 3 dB		$X_{A2} = -10.\lg(\sum 10^{0,1(L_{i2}-b_i)}$ X_{A2} = 49,2 C_{tr} = 49 –58 C_{tr} = -9 dB	
$R_{,w}(C;C_{tr})$ = 58(-3; -9) dB								



EJERCICIO 4

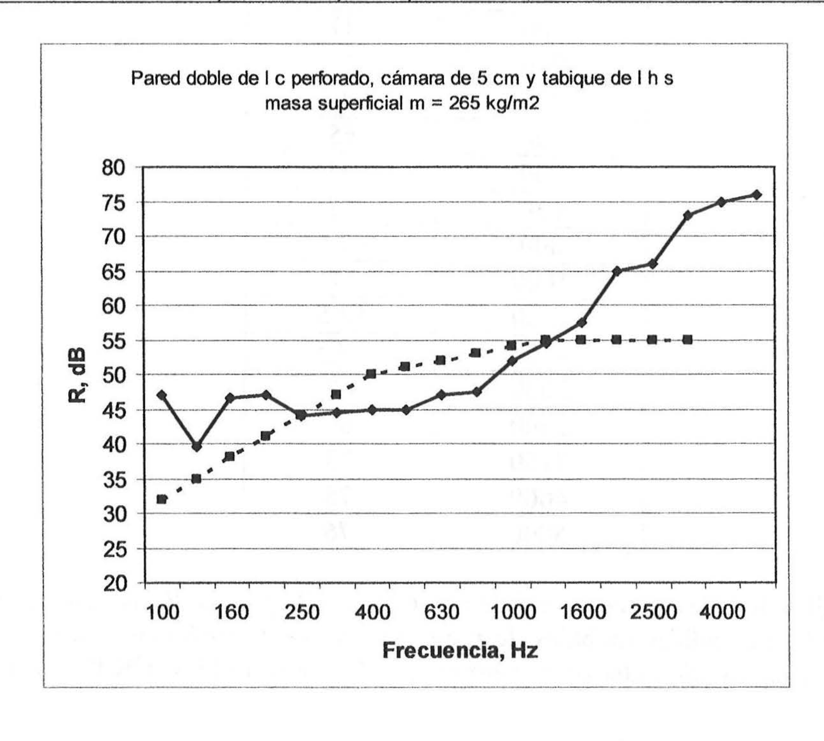
El índice de reducción acústica R de una pared doble de citara de ladrillo cerámico perforado, cámara de 5 cm y tabique de ladrillo hueco sencillo, con revestimientos exteriores con mortero de yeso por una cara y mortero de cemento por otra, (m' = 265 kg/m^2) es el que se muestra en la tabla siguiente.

Frecuencia, Hz	R, dB
100	47
125	39,5
160	46,5
200	47
250	44
315	44,5
400	45
500	45
630	47
800	47,5
1000	52
1250	54,5
1600	57,5
2000	65
2500	66
3150	73
4000	75
5000	76

Calcúlense: a) El índice de reducción acústica ponderado $R_w(C_{100-5000};C_{tr100-5000})$ según la UNE-EN ISO 717-1; b) los índices globales de reducción acústica ponderados A, de un elemento constructivo R_A y para ruido exterior de automóviles R_{Atr} según el DB-HR Protección frente al ruido del CTE.

SOLUCIÓN

(d) Desplazamiento de la curva de referencia:-1 dB								
Frec., Hz	(a) C.R, dB	(b) R, dB	a+d- b dB	Desv. Desf. dB	Espectro 1para C L_{i1}, dB	L_{i1}– b dB	Espectro 2 para C_{tr} L_{i2}, dB	L_{i2}– b dB
100	33	47	-15	0,0	-30	-77	-20	-67
125	36	39,5	-4,5	0,0	-27	-66,5	-20	-59,5
160	39	46,5	-8,5	0,0	-24	-70,5	-18	-64,5
200	42	47	-6,0	0,0	-22	-69	-16	-63
250	45	44	0,0	0,0	-20	-64	-15	-59
315	48	44,5	2,5	2,5	-18	-62,5	-14	-58,5
400	51	45	5,0	5,0	-16	-61	-13	-58
500	52	45	6,0	6,0	-14	-59	-12	-57
630	53	47	5,0	5,0	-13	-60	-11	-58
800	54	47,5	5,5	5,5	-12	-59,5	-9	-56,5
1000	55	52	2,0	2,0	-11	-63	-8	-60
1250	56	54,5	0,5	0,5	-10	-64,5	-9	-63,5
1600	56	57,5	-2,5	0,0	-10	-67,5	-10	-67,5
2000	56	65	-10	0,0	-10	-75	-11	-76
2500	56	66	-11	0,0	-10	-76	-13	-79
3150	56	73	-18	0,0	-10	-83	-15	-88
4000	-	75	0,0	0,0	-10	-85	-16	-91
5000	-	76	0,0	0,0	-10	-86	-18	-94
		S. D.D = 26,5 < 32 dB R_w = 52-1 = 51 dB			$X_{A1} = -10.\lg(\sum 10^{0,1(L_{ij}-b_i)}$ dB X_A = 51,7 dB= 52 dB $C_{100\text{-}5000}$ = 52 –51 $C_{100\text{-}5000}$ = 1 dB		$X_{A2} = -10.\lg(\sum 10^{0,1(L_{i2}-b}$ X_{A2} = 48,6 $C_{tr(100\text{-}5000)}$ = 49 –51 $C_{tr(100\text{-}5000)}$ = -2 dB	
$R_{,w}(C_{100\text{-}5000;}Ctr_{100,5000})$ = 51(1; -2) dB								



b1) Índice global de reducción acústica ponderado A del elemento constructivo R_A según el DB-HR Protección frente al ruido del CTE.

$$R_A = -10.\lg \sum_{i=1}^{n} 10^{(L_{Ar,i} - R_i)/10} \quad [dBA]$$

Frecuencia central f_i, Hz	R_i dB	Espectro normalizado de ruido rosa, ponderado A, $L_{Ar,i}$, dBA	$L_{Ar,I}$ - R_i
100	47	-30,1	-77,1
125	39,5	-27,1	-66,6
160	46,5	-24,4	-70,9
200	47	-21,9	-68,9
250	44	-19,6	-63,6
315	44,5	-17,6	-62,1
400	45	-15,8	-60,8
500	45	-14,2	-59,2
630	47	-12,9	-59,9
800	47,5	-11,8	-59,3
1.000	52	-11	-63
1.250	54,5	-10,4	-64,9
1.600	57,5	-10	-67,5
2.000	65	-9,8	-74,8
2.500	66	-9,7	-75,7
3.150	73	-9,8	-82,8
4.000	75	-10	-85
5.000	76	-10,5	-86,5
$R_A = -10.\lg \sum_{i=1}^{n} 10^{(L_{Ar,i} - R_i)/10} \quad [dBA]$ **R_A = 51,7 dBA**			

b2) Índice global de reducción acústica ponderado A, para ruido exterior dominante de automóviles R_{Atr} según el DB-HR Protección frente al ruido del CTE.

$$R_{Atr} = -10.\lg \sum_{i=1}^{n} 10^{(L_{Atr,i} - R_i)/10} \quad [dBA]$$

Frecuencia central f_i, Hz	R_i dB	Espectro normalizado de ruido de automóviles, ponderado A, $L_{Atr,i}$, dBA	$L_{Atr,I}$ - R_i
100	47	-20	-67
125	39,5	-20	-59,5
160	46,5	-18	-64,5
200	47	-16	-63
250	44	-15	-59
315	44,5	-14	-58,5
400	45	-13	-58
500	45	-12	-57
630	47	-11	-58
800	47,5	-9	-56,5
1.000	52	-8	-60
1.250	54,5	-9	-63,5
1.600	57,5	-10	-67,5
2.000	65	-11	-76
2.500	66	-13	-79
3.150	73	-15	-88
4.000	75	-16	-91
5.000	76	-18	-94
$R_{Atr} = -10.\lg \sum_{i=1}^{n} 10^{(L_{Atr,i} - R_i)/10}$ [dBA] **R_{Atr} = 48,6 dBA**			

EJEMPLO 5

Los resultados promedios de las mediciones acústicas realizadas, según la UNE-EN ISO 140-5, del aislamiento acústico a ruido aéreo de la fachada de un dormitorio, son los siguientes

Frecuencia, Hz	$L_{1,2m}$, dB	L_2, dB	T_2, s
100	72,4	50,7	0,70
125	79,1	56,9	1,08
160	75,5	54,1	1,09
200	70,0	54,0	1,44
250	73,8	51,3	1,22
315	71,1	44,0	1,17
400	73,3	41,3	0,99
500	81,0	50,7	1,05
630	84,4	55,8	1,24
800	78,5	48,1	1,35
1000	75,3	41,2	1,34
1250	73,4	43,0	1,26
1600	75,9	37,8	1,15
2000	78,1	38,8	1,03
2500	78,5	35,1	0,98
3150	70,5	30,7	1,02
4000	65,0	27,2	1,03
5000	58,9	27,4	0,94

No se han incluido los valores del ruido de fondo en el recinto receptor al ser mucho menores que los valores del nivel sonoro en el recinto receptor L_2. Calcúlense: a) la diferencia de niveles estandarizada ponderada $D_{2m,nT,w}+C_{tr,100-5000}$ de la fachada del recinto según la UNE-EN ISO 717-1; b) la diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, frente al ruido de tráfico de la fachada $D_{2m,nT,Atr}$ según el DB-HR Protección frente al ruido del CTE.

SOLUCIÓN

a) La diferencia de niveles estandarizada ponderada $D_{2m,nT,w}+C_{tr,100-5000}$ de la fachada del recinto según la UNE-EN ISO 717-1

Al sustituir los valores medidos en la expresión de la definición de la diferencia de niveles estandarizada $D_{ls,2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10\lg\frac{T}{T_0}$ dB; se obtiene

Frecuencia, Hz	$D_{2m,nT}$, dB
100	23,1
125	25,5
160	24,8
200	20,6
250	26,4
315	30,8
400	35,0
500	33,5
630	32,5
800	34,7
1000	38,4
1250	34,4
1600	41,7
2000	42,4
2500	46,3
3150	42,9
4000	40,9
5000	34,2

Cálculo de la magnitud global y de los términos de adaptación espectral

(d) Desplazamiento de la curva de referencia:-16 dB								
Frec, Hz	**(a)** C.R dB	**(b)** $D_{2m,nT}$, dB	**a+d-b** dB	Desv. Desf. dB	Espectro 1 para C L_{i1}, dB	L_{i1} – **b** dB	Espectro 2 para C_{tr} L_{i2}, dB	L_{i2} – **b** dB
100	33	23,1	-6,1	-	-30	-53,1	-20	-43,1
125	36	25,5	-5,5	-	-27	-52,5	-20	-45,5
160	39	24,8	-1,8	-	-24	-48,8	-18	-42,8
200	42	20,6	5,4	5,4	-22	-42,6	-16	-36,6
250	45	26,4	2,6	2,6	-20	-46,4	-15	-41,4
315	48	30,8	1,2	1,2	-18	-48,8	-14	-44,8
400	51	35,0	0	0	-16	-51	-13	-48
500	52	33,5	2,5	2,5	-14	-47,5	-12	-45,5
630	53	32,5	4,5	4,5	-13	-45,5	-11	-43,5
800	54	34,7	3,3	3,3	-12	-46,7	-9	-43,7
1000	55	38,4	0,6	0,6	-11	-49,4	-8	-46,4
1250	56	34,4	5,6	5,6	-10	-44,4	-9	-43,4
1600	56	41,7	-1,7	-	-10	-51,7	-10	-51,7
2000	56	42,4	-2,4	-	-10	-52,4	-11	-53,4
2500	56	46,3	-6,3	-	-10	-56,3	-13	-59,3
3150	56	42,9	-2,9	-	-10	-52,9	-15	-57,9
4000	-	40,9			-10	-50,9	-16	-56,9
5000	-	34,2			-10	-44,2	-18	-52,2
		S. D. D = 25,7 < 32 dB $D_{2m,nT,w}$ = 52-16 = 36 dB			$X_{A1} = -10.\lg(\sum 10^{0,1(L_{ij}-b_i)}\ dB$ $X_A = 35,2$ $C_{100\text{-}5000} = 35 - 36$ $C_{100\text{-}5000} = -1$ dB		$X_{A2} = -10.\lg(\sum 10^{0,1(L_{i2}-b_i)}\ dB$ $X_{A2} = 31,7$ $C_{tr(100\text{-}5000)} = 32 - 36$ $C_{tr(100\text{-}5000)} = -4$ dB	
$D_{2m,nT,w}(C_{100\text{-}5000};C_{tr,100,5000})$ = 36(-1; - 4) dB								

Nota: En la cuarta columna se han calculado las desviaciones, para ello en cada fila de ésta columna, a la curva de referencia **a** se le sumó el desplazamiento **d** y se le restó el valor $D_{2m,nT}$; **b**. En la quinta columna se han escrito las desviaciones desfavorables, que se han sumado en la parte inferior.

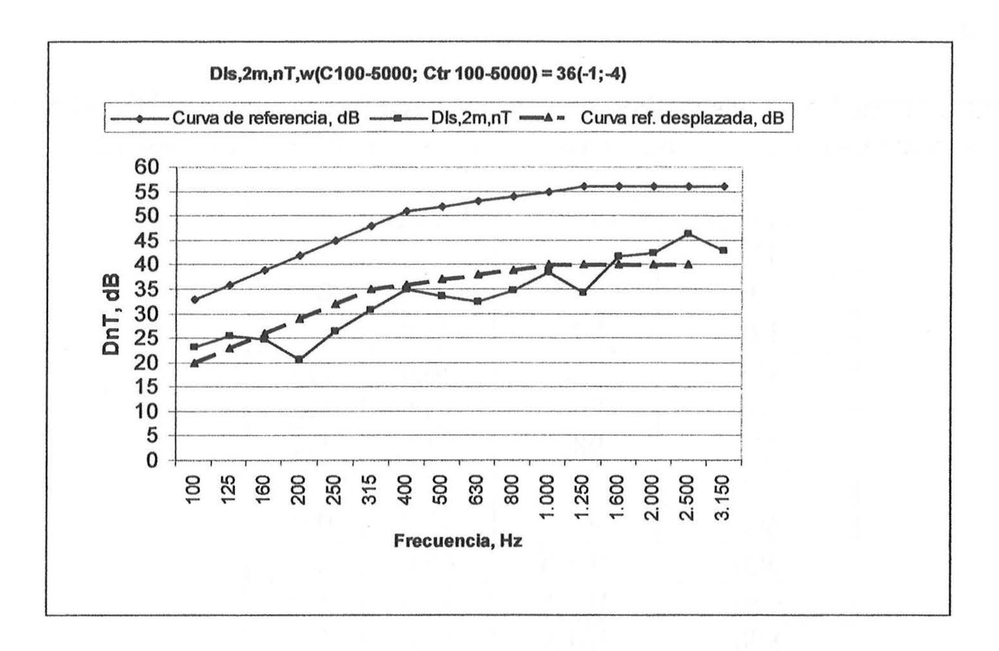


Figura: Gráfica de la curva de referencia, curva de referencia desplazada y resultados de $D_{2m,nT}$.

b) la diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, frente al ruido de tráfico de la fachada $D_{2m,nT,Atr}$ según el DB-HR Protección frente al ruido del CTE.

$$D_{2m,nT,Atr} = -10.\lg \sum_{i=1}^{n} 10^{0,1(L_{Atr,i} - D_{2m,nT,i})} \quad [dBA]$$

Frecuencia central f_i, Hz	$D_{2m,nT}$ dB	Espectro normalizado del ruido de automóviles, ponderado A $L_{Atr,i}$, dBA
100	23,1	-20
125	25,5	-20
160	24,8	-18
200	20,6	-16
250	26,4	-15
315	30,8	-14
400	35,0	-13
500	33,5	-12
630	32,5	-11
800	34,7	-9
1.000	38,4	-8
1.250	34,4	-9
1.600	41,7	-10
2.000	42,4	-11
2.500	46,3	-13
3.150	42,9	-15
4.000	40,9	-16
5.000	34,2	-18

$$D_{2m,nT,Atr} = -10.\lg \sum_{i=1}^{n} 100^{0,1(L_{Atr,i} - D_{2m,nT,i})} \quad [dBA]$$

$D_{2m,nT,Atr}$ = 31,7 dBA

EJEMPLO 6

Los resultados promedios de las mediciones acústicas realizadas, según la UNE-EN ISO 140-4, del aislamiento acústico a ruido aéreo entre dos salones, son los siguientes

Frecuencia, Hz	L_1, dB	L_2, dB	T_2, s
100	90,5	50,2	0,90
125	89,5	47,0	1,81
160	91,6	50,0	1,46
200	96,0	46,5	1,63
250	98,0	44,0	1,45
315	99,2	44,8	1,19
400	99,3	43,4	0,93
500	101,5	45,6	1,29
630	101,8	46,6	1,56
800	101,9	50,8	1,75
1000	101,7	48,8	1,76
1250	99,4	43,4	1,70
1600	99,3	50,3	1,63
2000	99,7	46,5	1,42
2500	100,4	43,5	1,39
3150	98,6	40,0	1,46
4000	96,5	35,0	1,46
5000	93,8	28,7	1,37

Los volúmenes de los recintos emisor y receptor son 57 y 58 m^3 respectivamente. El área de la pared separadora es de 17 m^2. No se han incluido los valores del ruido de fondo en el recinto receptor al ser mucho menores que los valores del nivel sonoro en el recinto receptor L_2.
Calcúlense: a) la diferencia de niveles estandarizada ponderada $D_{nT,w}$+ $C_{100\text{-}5000}$ entre los recintos según la UNE-EN ISO 717-1; b) la diferencia de niveles estandarizada, ponderada A entre recintos interiores D_{nTA} según el DB-HR Protección frente al ruido del CTE.

SOLUCIÓN:

a) - $D_{ls,2m,nT,w}(C_{100\text{-}5000};C_{tr\ 100,5000})$ = 59(0; -3) dB

b) - Al utilizar el espectro normalizado de ruido rosa, ponderado A, $L_{Ar,i}$ se obtiene: $D_{nT,A}$ = 58,5 dBA

EJERCICIO 7

En un recinto de volumen 52,7 m^3 , de área de la fachada 8,6 m^2 y de área de hueco 4 m^2 se han realizado mediciones acústicas del aislamiento acústico a ruido aéreo de la fachada, según la Norma UNE-EN ISO 140-5. Los resultados promedios de las magnitudes acústicas medidas son los siguientes

Frecuencia, Hz	$L_{1,2m}$, dB	L_2, dB	T_2, s
100	77,6	55,9	1,05
125	79,5	61,4	1,14
160	80,1	61	1,29
200	82,5	59,5	1,38
250	81	61	1,38
315	78,9	55,5	1,34
400	79,5	52,2	1,26
500	80,5	53,9	1,39
630	84,3	56,5	1,2
800	81,6	55,3	1,22
1000	74,7	49,4	1,31
1250	80,5	51	1,09
1600	82,4	53,6	1,23
2000	83,7	53,7	1,06
2500	80,7	48,5	0,96
3150	73,5	39,4	0,96
4000	70,6	36	0,87
5000	64,6	31,8	0,77

No se han incluido los valores del ruido de fondo en el recinto receptor al ser mucho menores que los valores del nivel sonoro en el recinto receptor L_2.

Calcúlense: a) la diferencia de niveles estandarizada ponderada $D_{2m,nT,w}+C_{tr(100\text{-}5000)}$ de la fachada del recinto según la UNE-EN ISO 717-1; b) la diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, frente al ruido de tráfico de la fachada $D_{2m,nT,\,Atr}$ según el DB-HR Protección frente al ruido del CTE. c) Estímese el nivel sonoro de inmisión en dBA si el nivel de presión sonora promedio del ruido de tráfico a dos metros de la fachada es 67 dBA.

SOLUCIÓN

a) - $D_{2m,nT,w}(C_{100\text{-}5000};Ctr_{100,5000}) = 32(0; -2)$ dB

b) - $D_{2m,nT,Atr} = 29,9$ dBA

c) - $L_{2,Atr} = 37,1$ dBA

5.- MAGNITUDES QUE CARACTERIZAN EL AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO DE IMPACTOS.

Los métodos de medición del aislamiento a ruido de impactos de los edificios y de los elementos de construcción han sido normalizados mediante las Normas ISO siguientes:

EN ISO 140-6- *Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 6: Mediciones en laboratorio del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos.*
EN ISO 140-7- *Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte7: Medición in situ del aislamiento acústico de suelos a ruido de impactos.*
EN ISO 140-8 - *Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte8: Medición en laboratorio de la reducción del ruido de impactos transmitido a través de revestimiento de suelos sobre forjado normalizado pesado.*
EN ISO 140-12 - *Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte12: Medición en laboratorio de aislamiento al ruido aéreo y de impactos entre locales con suelo registrable.*

Las Normas anteriores proporcionan valores para el aislamiento a ruido de impactos *en función de la frecuencia.* Los ruidos de impacto se producen mediante una máquina de impactos autopropulsada normalizada. Esta consta de cinco martillos de 500 gramos situados en línea, que caen libremente desde una altura de 40 mm sobre la superficie de ensayo, cada 0,1 s.

5.1- MAGNITUDES QUE EXPRESAN EL AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO DE IMPACTOS DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS (EN ISO 140-6).

Para las *mediciones en laboratorio* se definen las siguientes magnitudes, medidas en bandas de frecuencia (octava o tercios de octava):

Nivel de presión acústica de impacto normalizado, L_n

Es el nivel de presión de ruido de impactos L_i aumentado mediante un término de corrección, dado en decibelios, que es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el área de absorción acústica equivalente medido A del local receptor y el área de absorción acústica equivalente de referencia A_0; se expresa en decibelios.

$$L_n = L_i + 10.\lg\frac{A}{A_0} \quad dB \qquad [29]$$

Donde: L_i ,es el nivel de presión acústica de impactos medio en bandas de frecuencia en el local receptor cuando el suelo bajo ensayo es excitado por la máquina de impactos normalizada, se expresa en decibelios. La absorción acústica equivalente del local receptor se determina utilizando la fórmula de Sabine del tiempo de reverberación, de acuerdo con la Norma UNE EN ISO 354:2004. $A_0 = 10\ m^2$

Reducción del nivel de presión acústica de impactos ΔL (mejora del aislamiento a ruidos de impacto).

Es la reducción del nivel de presión acústica de impactos normalizado resultante de la instalación del recubrimiento de suelo objeto de ensayo.

$$\Delta L = L_{no} - L_n \text{ dB} \qquad [30]$$

L_{no} es el nivel de presión acústica de impactos normalizado en ausencia de recubrimiento de suelo, en dB; L_n es el nivel de presión acústica de impactos normalizado una vez instalado el recubrimiento de suelo, en dB.

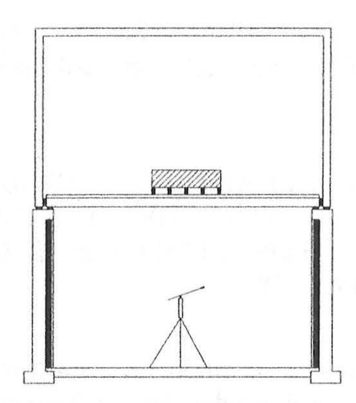


Figura 4: En los ensayos en laboratorio, se considera que el sonido se transmite del recinto emisor al receptor a través del sistema constructivo que los separa

5.2.- MAGNITUDES QUE EXPRESAN EL AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO DE IMPACTOS DEL EDIFICIO.

Para las *mediciones in situ* (EN ISO 140-7) se definen las siguientes magnitudes, medidas en bandas de frecuencia (octava o tercios de octava):

Nivel normalizado de la presión acústica de impactos, L'_n

Es el nivel de presión acústica de impactos L_i medido en el recinto receptor, aumentado mediante un término de corrección, dado en decibelios, que es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el área de absorción acústica equivalente medida A, de la sala receptora, y el área de absorción acústica equivalente A_0 de referencia; se expresa en decibelios.

$$L'_n = L_i + 10.\lg\frac{A}{A_0} \quad dB \qquad [31]$$

donde $A_0 = 10$ m^2 en viviendas.

Nivel estandarizado de la presión acústica de impactos, L'_{nT}

Es el nivel de presión acústica de impactos L_i, reducido mediante un término de corrección, dado en decibelios, que es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el tiempo de reverberación medido en el recinto receptor y el tiempo de reverberación de referencia T_0, se expresa en decibelios:

$$L'_{nT} = L_i - 10.\lg\frac{T}{T_0} \quad dB \qquad [32]$$

para viviendas T_0 = 0,5 s.

Las dos magnitudes anteriores están relacionadas mediante la expresión siguiente

$$L'_{nT} = L'_n - 10.\lg\frac{0{,}16V}{A_0T_0} \quad dB = L'_n - 10\lg 0{,}032V \quad dB \qquad [33]$$

donde V es el volumen del recinto receptor en m^3. El volumen del recinto receptor tiene importancia en el valor que se obtiene.

Reducción del nivel de ruido de impactos, ΔL′

Es la diferencia, en decibelios, entre los niveles medios de presión acústica, en el recinto receptor antes y después de la instalación, por ejemplo, un recubrimiento del suelo.

5.3 - PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LAS MAGNITUDES GLOBALES, SEGÚN LA NORMA UNE-EN ISO 717-2. EVALUACIÓN DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO EN LOS EDIFICIOS Y DE LOS ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN. PARTE 2: AISLAMIENTO A RUIDO DE IMPACTOS.

Los métodos de medición del aislamiento al ruido de impactos de los edificios y de los elementos de construcción han sido normalizados en las Normas Internacionales ISO 140 indicadas en el apartado anterior. Estos métodos proporcionan valores para el aislamiento a ruido de impactos que son función de la frecuencia. La ISO 717-2 tiene por objetivo normalizar un método por el cual la dependencia en frecuencia del aislamiento a ruido de impactos pueda convertirse en un solo número que caracterice el aislamiento acústico y simplificar la formulación de los requisitos acústicos en los códigos de la edificación.

Para la aplicación de la UNE EN ISO 717-2, se utilizan diferentes definiciones como las siguientes:

- *Magnitud global para la valoración del aislamiento al ruido de impactos derivada de mediciones en bandas de tercio de octava.* Es el valor en dB, a 500 Hz de la curva de referencia una vez ajustada a los valores experimentales según el método especificado en esta parte de la ISO 717. Existen magnitudes globales de las propiedades globales de aislamiento al ruido de impactos de elementos de construcción, como por ejemplo el nivel normalizado ponderado de la presión acústica de impactos, $L_{n,w}$; y magnitudes globales del aislamiento a ruido de impactos entre habitaciones en edificios tales como el nivel normalizado ponderado de la presión acústica de impactos, $L'_{n,w}$; y nivel estandarizado ponderado de la presión acústica de impactos $L'_{nT,w}$.

- *Magnitud global para valoración del aislamiento a ruidos de impactos a partir de mediciones en bandas de octava.* Es el valor en dB, a 500 Hz de la curva de referencia una vez ajustada a los valores experimentales según las especificaciones de la Norma ISO 717, disminuida en 5 dB.

- *Reducción ponderada del nivel de presión acústica de impactos*: Es la diferencia entre los niveles ponderados de la presión de impactos normalizada de un suelo de referencia sin y con un revestimiento del suelo, obtenidos con el método especificado en esta parte de la Norma ISO 717. Esta magnitud se designa con ΔL_w y se expresa en dB.

El procedimiento para la evaluación de magnitudes globales es el mismo para todas ellas.

a) Mediciones en bandas de tercio de octava.

Para valorar los resultados de una medición de L_n, L'_n o L'_{nT}; en bandas de tercio de octava, con precisión de 0,1 dB, se desplaza la curva de referencia en saltos de 1 dB hacia la curva medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible pero no mayor de 32,0 dB, para mediciones en 16 bandas de tercio de octava entre 100 Hz y 3150 Hz.

Se produce una desviación desfavorable en una determinada banda de frecuencia cuando el resultado de la medición supera al valor de referencia. Únicamente se consideran las desviaciones desfavorables. **El valor, en dB, de la curva de referencia a 500 Hz, después del desplazamiento, es el valor de $L_{n,w}$, $L'_{n,w}$ o $L'_{nT,w}$**

b) Mediciones en bandas de octava.

Para valorar los resultados de una medición in situ de L_n, L'_n o L'_{nT}; en bandas de octava, con una cifra decimal significativa, con precisión de 0,1 dB, se desplaza la curva de referencia en saltos de 1 dB hacia la curva medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible pero no mayor de 10,0 dB. El rango de frecuencias es de 125 Hz a 2000 Hz.

Se produce una desviación desfavorable en una determinada banda de frecuencia cuando el resultado de la medición supera al valor de referencia. Únicamente se consideran las desviaciones desfavorables. **El valor, en dB, de la curva de referencia a 500 Hz, después del desplazamiento, y disminuida en 5 dB es el valor de $L_{n,w}$, $L'_{n,w}$ o $L'_{nT,w}$.**

Para mediciones in situ, debe indicarse si la magnitud global se ha calculado a partir de los resultados de la medición en bandas de octava o de tercio de octava, pues hay diferencia en los resultados obtenidos. La Tabla 6 muestra los valores de referencia para ruidos de impacto, en dB, para bandas de tercio de octava y octava.

Frecuencia, Hz	Valores de referencia, dB	
	Bandas de 1/3 de octava	Bandas de octava
100	62	
125	62	67
160	62	
200	62	
250	62	67
315	62	
400	61	
500	60	65
630	59	
800	58	
1000	57	62
1250	54	
1600	51	
2000	48	49
2500	45	
3150	42	

Tabla 6: Valores de referencia para ruido de impacto.

- *Término de adaptación espectral C_I*: Es el valor, en dB, que ha de añadirse al valor de la magnitud global para tener en cuenta la carencia de ponderación del nivel acústico de impactos, por lo cual representa las características de espectro del ruido de pasos. El término de adaptación espectral del nivel de ruido de impactos se realiza mediante el procedimiento siguiente: Los resultados de la medición (L_n, L'_n, L'_{nT}) en bandas de octava en el rango de frecuencias de 125 Hz a 2000 Hz o en bandas de tercio de octava de 100 Hz a 3150 Hz se componen energéticamente para obtener $L_{n,suma}$, $L'_{n,\ suma}$, $L'_{nT,\ suma}$. El término de adaptación espectral C_I se calcula mediante las expresiones correspondientes:
-

$$C_I = L_{n,suma} - 15 - L_{n,w} \text{ dB}$$
$$C_I = L'_{n,suma} - 15 - L'_{n,w} \text{ dB}$$
$$C_I = L'_{nT,suma} - 15 - L'_{nT,w} \text{ dB}$$

La valoración mediante $L_{n,w}$ es bastante adecuada para caracterizar ruidos de impactos tales como pasos en suelos de madera y en suelos de cemento con recubrimientos tales como alfombras y suelos flotantes. Sin embargo, no da cuenta suficiente sobre los picos de nivel a frecuencias (bajas) discretas, por ejemplo en suelos con vigas de madera o en suelos de cemento sin recubrimiento al respecto. Se ha definido C_I de manera que para suelos macizos con recubrimientos eficaces toma un valor próximo a cero, mientras para suelos de vigas de madera con picos dominantes en bajas frecuencias sea ligeramente positivo. Para suelos de cemento sin recubrimientos o con recubrimientos poco eficaces, puede situarse entre -15 dB y 0 dB.

En la legislación acústica española, DB HR Protección frente al ruido del CTE, en lo referente al cálculo de aislamiento a ruido de impactos se utilizan las magnitudes $L'_{nT,w}$ y $L'_{n,w}$. Considera las situaciones de transmisión de ruido de impactos entre recintos superpuestos, recintos adyacentes y recintos con una arista horizontal común.

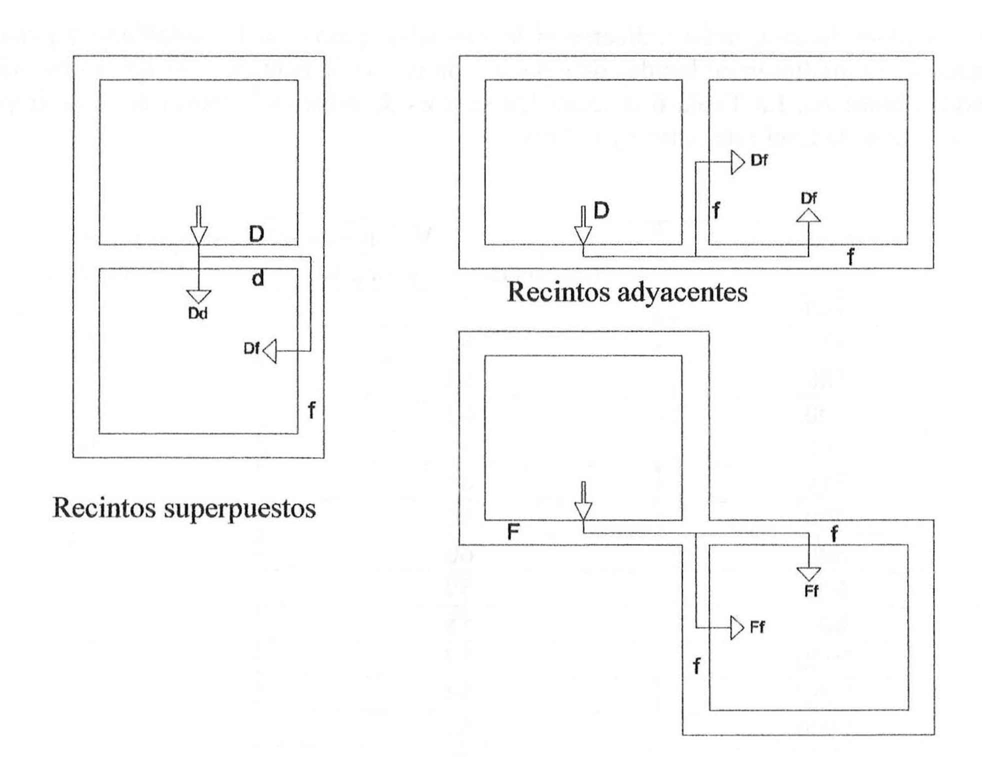


Figura 5: Sección vertical de los caminos de transmisión de ruido de impacto entre dos recintos.

La Norma ASTME 1007 (1997) proporciona otro procedimiento semejante al de la Norma UNE EN ISO 717-2 para obtener un valor global de una cifra Impact Insulation Class (IIC). Este

valor se obtiene al restar a 110 dB el valor, en la banda de frecuencia central de 500 Hz, de la curva de referencia desplazada que mejor ajusta con la curva experimental

6 - EJEMPLOS DE CÁLCULO DE NIVELES DE RUIDO DE IMPACTOS

EJERCICIO 8

El nivel normalizado de presión sonora de impactos de un sistema constructivo medido en laboratorio es el que se muestra a continuación.

Frecuencia, Hz	125	250	500	1.000	2.000	4.000
L_n , dB	71,9	78,9	78	79	80	82,1

Determínese el nivel normalizado ponderado de presión de ruido de impactos $L_{n,w}$ y el término de adaptación espectral (C_I).

SOLUCIÓN

Nivel normalizado ponderado de la presión acústica de impactos $L_{n,w}$

En el caso de mediciones en bandas de octava $L_{n,w}$ para valorar los resultados se desplaza la curva de referencia en saltos de 1 dB hacia la curva medida, hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible pero no superior a 10 dB. Se produce una **desviación desfavorable** en una determinada banda de octava cuando el resultado de la medición supera al valor de la curva de referencia desplazada. *El valor de la curva de referencia desplazada a 500 Hz, y disminuida en 5 dB es el valor $L_{n,w}$*

Término de adaptación espectral C_I: Es el valor, en dB, que ha de añadirse al valor de la magnitud global para tener en cuenta la carencia de ponderación del nivel acústico de impactos, por lo cual representa las características de espectro del ruido de pasos. Los resultados de L_n en bandas de octava en el rango de frecuencias de 125-2000 Hz se suman energéticamente. El término de adaptación C_I se calcula mediante la expresión:

$$C_I = L_{n,suma} - 15 - L_{n,w} \text{ dB}$$

Desplazamiento de la curva de referencia, D = 21 dB				
Frec, Hz	C Ref, dB	C Ref + D, dB	L_n, dB	Desv desf, dB L'_n-(CR+D)≥0
125	67	88,0	71,9	0,0
250	67	88,0	78,9	0,0
500	65	**86,0**	78,0	0,0
1000	62	83,0	79,0	0,0
2000	49	70,0	80,0	10,0
Suma de las desviaciones desfavorables:				10 ≤ 10
$L_{n,w}$ = 86- 5 = 81 dB				
$L_{n,sum} = 10.\lg \sum 10^{0,1L_{n,i}} dB$ =10.lg($10^{7,19}$+..+$10^{8,0}$)=85,3 dB C_I = 85 –15 – 81 = - 110 dB; C_I = -11 dB				

EJERCICIO 9

Determínese el nivel estandarizado ponderado de presión de ruido de impactos $L'_{nT,w}$ y el término de adaptación espectral (C_I) entre dos dormitorios colindantes verticalmente en un edificio de uso residencial según la Norma ISO 717-2. Las mediciones acústicas se han realizado según las recomendaciones de la norma UNE-EN ISO 140-7 (1999) y utilizando una máquina de impactos normalizada. Los niveles sonoros medidos y el tiempo de reverberación del recinto subyacente se muestran en la tabla siguiente

Frecuencia, Hz	125	250	500	1.000	2.000	4.000
L_i , dB	86	85	84	83	82	78
T, s	0,60	0,55	0,38	0,30	0,26	0,24

En la sala receptora el ruido de fondo en cada banda de octava es inferior en más de 10 dB a los valores del nivel de presión sonora L_i.

SOLUCIÓN

El nivel de presión de ruido de impactos estandarizado L'_{nT} se obtiene de expresión siguiente:

$$L'_{nT} = L_i - 10.\lg\frac{T}{T_0} \quad dB; \; T_0 = 0,5 \text{ s}$$

Frecuencia, Hz	125	250	500	1.000	2.000	4.000
L_i, dB	86	85	84	83	82	78
$-10.\lg\left(\frac{T}{0,5}\right) \quad dB$	-0,79	-0,41	1,19	2,21	2,83	3,18
$L'_{nT} = L_i - 10.\lg\frac{T}{T_0} \quad dB$	85,2	84,5	85,1	85,2	84,8	81,1

Nivel estandarizado ponderado de la presión acústica de impactos $L'_{nT,w}$

En el caso de mediciones en bandas de octava $L'_{nT,w}$ para valorar los resultados se desplaza la curva de referencia en saltos de 1 dB hacia la curva medida, hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible pero no superior a 10 dB. Se produce una **desviación desfavorable** en una determinada banda de octava cuando el resultado de la medición supera al valor de la curva de referencia desplazada. *El valor de la curva de referencia desplazada a 500 Hz, y disminuida en 5 dB es el valor $L'_{nT,w}$*

Desplazamiento de la curva de referencia, D = 26 dB				
Frec, Hz	C Ref, dB	C Ref + D, dB	L'_{nT}, dB	Desv desf, dB L'_n-(CR+D)≥0
125	67	93,0	85,2	0,0
250	67	93,0	84,5	0,0
500	65	91,0	85,1	0,0
1000	62	88,0	85,2	0,0
2000	49	75,0	84,8	9,8
Suma de las desviaciones desfavorables:				9,8 ≤ 10
$L_{nT,w}$ = 91- 5 = 86 dB				
$L_{n,sum} = 10.\lg\sum 10^{0,1L_{n,i}} dB$ =10.lg($10^{8,52}$+..+$10^{8,48}$)= 92,0 dB C_I = 92 –15 – 86 = - 9 dB; C_I = -9 dB				

EJERCICIO 10

Determínese el nivel global de presión de ruido de impactos estandarizado $L'_{nT,w}$ entre dos salones colindantes verticalmente en un edificio de viviendas según el DB HR Protección frente al ruido. Para la realización del ensayo se utilizó una máquina de impactos normalizada. Las mediciones acústicas se han realizado según las recomendaciones de la norma UNE-EN ISO 140-7 (1999). Los niveles sonoros medidos y el tiempo de reverberación del recinto subyacente se muestran en la tabla siguiente.

Frec (Hz)	Li (dB)	B2 (dB)	T2 (s)
100	59,2	36,3	0,90
125	65,1	33,9	1,81
165	66,7	31,6	1,46
200	65,1	31,0	1,63
250	62,4	23,4	1,45
315	58,7	23,2	1,19
400	52,7	21,2	0,93
500	52,0	19,8	1,29
630	47,2	20,8	1,56
800	45,3	19,7	1,75
1000	42,4	19,5	1,76
1250	38,6	20,2	1,70
1600	38,2	18,2	1,63
2000	34,1	15,6	1,42
2500	30,3	16,4	1,39
3150	28,3	15,9	1,46
4000	28,3	15,4	1,46
5000	28,1	14,0	1,37

SOLUCIÓN

El nivel de presión de ruido de impactos estandarizado L'_{nT} se obtiene de expresión siguiente:

$$L'_{nT} = L_i - 10.\lg\frac{T}{T_0} \quad dB\,;\ T_0 = 0{,}5\ \text{s}$$

En la tabla siguiente se muestran los resultados

Frecuencia, Hz	L'_{nT} dB
100	56,6
125	59,5
160	62,0
200	60,0
250	57,8
315	54,9
400	50,0
500	47,9
630	42,3
800	39,9
1000	36,9
1250	33,3
1600	33,1
2000	29,6
2500	25,9
3150	23,6
4000	23,6
5000	23,7

Nivel estandarizado ponderado de la presión acústica de impactos $L'_{nT,w}$.

Para valorar los resultados de una medición de L'_{nT} en bandas de tercio de octava, con precisión de 0,1 dB, se desplaza la curva de referencia en saltos de 1 dB hacia la curva medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible pero no mayor de 32,0 dB, para mediciones en 16 bandas de tercio de octava entre 100 Hz y 3150 Hz. Se produce una desviación desfavorable en una determinada banda de frecuencia cuando el resultado de la medición supera al valor de referencia. Únicamente se consideran las desviaciones desfavorables. *El valor, en dB, de la curva de referencia a 500 Hz, después del desplazamiento, es el valor de* $L'_{nT,w}$

Término de adaptación espectral. Los resultados de L'_{nT} en bandas de tercio de octava en el rango de frecuencias de 100-2500 Hz se suman energéticamente. El término de adaptación C_I se calcula mediante la expresión: $C_I = L'_{nT,suma} - 15 - L'_{nT,w}$ dB

Desplazamiento de la curva de referencia: -8				
Frecuencia, Hz	L'_{nT} dB	C. R. dB	C.R. Desp dB	Desv. Desf L'_{nT} -(C.R +D)>0 dB
100	56,6	62	54	2,6
125	59,5	62	54	5,5
160	62,0	62	54	8
200	60,0	62	54	6
250	57,8	62	54	3,8
315	54,9	62	54	0,9
400	50,0	61	53	-
500	47,9	60	**52**	-
630	42,3	59	51	-
800	39,9	58	50	-
1000	36,9	57	49	-
1250	33,3	54	48	-
1600	33,1	51	43	-
2000	29,6	48	40	-
2500	25,9	45	37	-
3150	23,6	42	34	-
$L'_{nT,sum} = 10.\lg\sum 10^{0,1L_{nT,i}} dB$ $=10\lg(10^{5,66}+..+10^{2,59})=67$ dB $C_I = 67 - 15 - 52 = 0$ dB; $C_I = 0$ dB				Suma =26,8 < 32 dB **$L'_{nT,w}$ = 52 dB**

EJERCICIO 11

Se han realizado ensayos in situ de las propiedades de aislamiento a ruido de impactos entre dos recintos colindantes verticalmente en un edificio, según las recomendaciones de la norma UNE-EN ISO 140-7 (1999), utilizando una máquina de impactos normalizada. Los niveles sonoros medidos y el tiempo de reverberación del recinto subyacente se muestran en la tabla siguiente. Determínese el nivel estandarizado ponderado de presión de ruido de impactos $L'_{nT,w}$ y el término de adaptación espectral (C_I) entre los dos recintos. La superficie de separación es de 15 m^2 y el volumen del recinto subyacente es de 80 m^3.

Frec (Hz)	Li (dB)	B2 (dB)	T2 (s)
100	51,5	30,1	0,52
125	54,2	28,0	0,55
165	56,2	25,5	0,67
200	60,0	24,5	0,62
250	59,5	21,0	0,65
315	57,1	18,4	0,59
400	58,8	17,7	0,66
500	58,0	16,0	0,70
630	58,1	16,0	0,76
800	56,1	18,0	0,85
1000	54,2	20,5	0,95
1250	54,2	19,4	1,06
1600	54,8	17,4	1,03
2000	51,4	17,4	1,08
2500	50,3	15,8	1,06
3150	46,8	15,6	1,06
4000	43,7	14,3	1,02
5000	41,1	13,3	0,93

SOLUCIÓN : $L'_{nT,w} = 56$ dB; $C_I = -4$ dB

ANEXO: EL SONIDO Y SUS MAGNITUDES DE MEDIDA

A.1- INTRODUCCIÓN

Se denomina sonido a la sensación experimentada cuando llegan a nuestro oído las ondas elásticas, producidas por movimientos vibratorios de determinadas características. El sonido se produce por vibraciones de los cuerpos, éstas se transmiten por un medio material en forma de movimiento ondulatorio, que produce vibraciones en la membrana del tímpano y excitan las terminales del nervio acústico que transportan al cerebro los impulsos neuronales que producen la sensación sonora.

El sonido es de gran importancia en la calidad de vida de las personas. Al sonido no deseado, o desagradable, se le denomina *ruido*. La sensación de ruido generalmente está asociada a una variación aleatoria de la presión acústica, por ejemplo circulación de automóviles, el sobrevuelo de un avión, maquinaria en funcionamiento, etc.

La velocidad de propagación del sonido en el aire es proporcional a la raíz cuadrada de su temperatura absoluta. Considerando la relación entre calores específicos a presión constante $\gamma = 1{,}4$ para el aire, la constante universal de los gases, $R = 8{,}31.10^3$ J/kmol.K y la masa molecular del aire $M = 29$ kg/kmol, la velocidad de propagación del sonido en el aire se puede escribir $c = 20{,}05\sqrt{T}$ m/s. Para temperaturas próximas a 20°C, la velocidad del sonido es $c = 331{,}5 + 0{,}58\theta$ m/s, donde θ es la temperatura en °C. En la aplicación de las normativas en la edificación se suelen considerar que la temperatura es de 20°C y la densidad del aire 1,21 kg/m^3, en consecuencia la velocidad del sonido en el aire c = 343 m/s.

La velocidad de propagación de las ondas mecánicas en un medio elástico, depende de las características del mismo, siguiendo en general una expresión de la forma:

$$c = \sqrt{\frac{\Pr opiedad \quad elástica}{\Pr opiedad \quad inercial}} \qquad \text{(A-1)}$$

La *expresión fundamental* que relaciona la velocidad de propagación de la perturbación, velocidad de fase de la onda, con la frecuencia a la que se produce la perturbación y la longitud de la onda es:

$$c = \lambda . f \quad m/s \qquad \text{(A-2)}$$

Donde f es la frecuencia (en Hz o s^{-1}) y λ la longitud de la onda (m).

La velocidad de propagación del sonido en el aire, en el rango audible es prácticamente independiente de la frecuencia, es decir, el medio en el que se propaga no es dispersivo. El rango audible de las personas varía con la edad y sus condiciones físicas. Las ondas sonoras producen sensaciones en el sentido del oído cuando la amplitud de la presión acústica supera unos valores umbrales y el rango de frecuencias audibles está entre 20 Hz y 20 kHz.

En la acústica en la edificación el rango de frecuencias de interés suele estar entre las contenidas en las bandas de un tercio de octava de frecuencias centrales entre 50 Hz y 5 kHz. Se suelen considerar: bajas frecuencias las contenidas en las bandas de frecuencia de 50 a 200 Hz; frecuencias medias las situadas de 250 a 1000 Hz; y altas frecuencias de 1250 a 5000 Hz.

Cuando el receptor de las ondas sonoras es un aparato de medida, existen unas leyes físicas bien determinadas, que relacionan entre si la emisión, propagación y recepción con unas determinadas magnitudes físicas como pueden ser la presión, intensidad y potencia acústicas.

En las medidas acústicas se utiliza la escala logarítmica, su utilización se debe fundamentalmente a dos motivos, el primero es que el rango de sonidos que el oído humano puede percibir, tanto en frecuencias como en amplitudes, es muy amplio. Para mantener una precisión constante al medir estas magnitudes, y no manejar un rango de números muy alto se utiliza la escala logarítmica. El otro motivo es que en el rango de frecuencias audibles, el oído humano responde de forma aproximadamente proporcional al logaritmo decimal de los cambios de presión sonora.

Las magnitudes físicas más usuales en acústica son la presión, la intensidad y la potencia acústicas.

Los intervalos aproximados en los que el oído humano joven y sano puede percibir un sonido son: frecuencias, (20 – 20.000) Hz; presiones, (2.10^{-5} – 10^{3}) Pa; intensidades, (10^{-12} – 200) W/m^2.

Se llama *presión acústica o dinámica*, a la variación de la presión producida en un punto, como consecuencia de la onda que se propaga a través del fluido.

$$p = p_i - p_{at} \qquad \text{(A.3)}$$

p = presión acústica; p_i = presión instantánea en cualquier punto; p_{at} = presión del fluido en reposo. En el Sistema Internacional (SI) la unidad es el Pascal (Pa).

El mecanismo de la audición humano responde a las variaciones de la presión acústica, por ello es la magnitud más medida en acústica.

La intensidad sonora es importante en acústica por dos razones. Una es que en el espacio libre, está relacionada en cada punto con la potencia radiada por una fuente sonora al aire, y la otra es que en cada punto está relacionada con la presión sonora.

La potencia sonora de una fuente, en una banda de frecuencia determinada, es la energía acústica irradiada por la fuente en la unidad de tiempo. En acústica, ésta magnitud se utiliza para caracterizar a las fuentes sonoras.

En un lugar donde no hay superficies que reflejen el sonido y a cierta distancia de la fuente, la intensidad sonora máxima está relacionada con la presión sonora en cada punto con cualquier tipo de onda viajera libre (plana, esférica, cilíndrica, ..) mediante la relación

$$I_{\max}(r) = \frac{p_{ef}^2(r)}{\rho c} \qquad \frac{W}{m^2} \qquad \text{(A.4)}$$

p_{ef} es la presión sonora eficaz, Pa = N/m^2
ρc es la resistencia característica del medio a través del cual viajan las ondas sonoras.

A la distancia r de una fuente sonora puntual isotrópica, la relación entre la intensidad sonora y la potencia sonora de la fuente es

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \qquad \frac{W}{m^2} \qquad \text{(A.5)}$$

A.2- NIVELES Y DECIBELIOS

Las magnitudes que en Acústica se miden se denominan niveles y siempre están referidas a un nivel cero que corresponde con la referencia respecto a la cual se establece la escala de medida. En Acústica se utiliza el decibelio o décima parte del Belio, dB. El decibelio es una unidad adimensional de medida definida como:

$$L = 10\log\frac{M}{M_0} \quad dB; \quad ref\ M_0 \qquad (A.6)$$

en la cual L es el nivel en dB, M y M_0 son magnitudes físicas homogéneas, y M_0 es la magnitud de referencia. En Acústica, la primera vez que aparece el termino decibelio es en un artículo publicado, en el primer número de la revista J.A.S.A, debido a V.O. Knudsen,1929, JASA, vol 1, pag 58.

NIVEL DE INTENSIDAD ACÚSTICA

Se define por:

$$L_I = 10.\log\frac{I_{ef}}{I_0} \quad \text{dB, (ref } I_0 \text{)} \qquad (A.7)$$

I_{ef} es la intensidad acústica eficaz medida en W/m^2, correspondiente al nivel L_I, I_0 es la intensidad eficaz de referencia, establecida internacionalmente en 10^{-12} W/m^2.

NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA

Es la magnitud física más utilizada en Acústica y la más sencilla de medir. Al ser la intensidad acústica proporcional al cuadrado de la presión acústica, se define mediante la siguiente expresión:

$$L_p = 10.\log\frac{p_{ef}^2}{p_0^2} = 20.\log\frac{p_{ef}}{p_0} \quad \text{dB, (ref } p_0 \text{)} \qquad (A.8)$$

Por acuerdo internacional, la presión eficaz de referencia es, $p_0 = 2.10^{-5}$ Pa, corresponde al umbral de audición de un tono puro de 1.000 Hz.

Con la definición del nivel de presión acústica, la escala de niveles de presiones acústica que representan los umbrales de audición y de dolor, se reducen al rango de 0 a 140 dB, a la frecuencia de 1 kHz.

NIVEL DE POTENCIA ACÚSTICA

La potencia acústica de una fuente, en una banda de frecuencia, es la energía sonora irradiada por la fuente en la unidad de tiempo. Es útil expresar la potencia acústica de una fuente en escala logarítmica. Por ello se define el nivel de potencia acústica de una fuente, L_w, por

$$L_W = 10.\log\frac{W_{ef}}{W_0} \quad \text{dB, (ref } W_0 \text{)} \qquad (A.9)$$

La potencia de referencia es $W_0 = 10^{-12}$ W.

Conviene recordar, que el nivel de potencia acústica es característico de las fuentes sonoras, en general, es independiente del lugar donde coloquemos a estas y de las condiciones ambientales; sin embargo los niveles acústicos de presión e intensidad dependen de la distancia a la fuente y de las condiciones del lugar donde esté colocada la misma. En el interior de un recinto tiene una gran influencia la absorción acústica del acabado de las superficies, mobiliario, etc. En exteriores influyen el tipo de suelo, obstáculos, condiciones ambientales, etc.

NIVELES ACÚSTICOS Y CANTIDADES DE REFERENCIA. (Recomendación ISO Nº 1.683, y ANSI S1.8 (1.989)).

Magnitud	Definición, dB	Referencia
Nivel de presión	$L_p = 10.\log \frac{p_{ef}}{p_{ref}}$	$p_{ref} = 2.10^{-5}$ Pa
Nivel de intensidad	$L_I = 10.\log \frac{I_{ef}}{I_{ref}}$	$I_{ref} = 10^{-12}$ W/m^2
Nivel de potencia	$L_W = 10.\log \frac{W_{ef}}{W_{ref}}$	$W_{ref} = 10^{-12}$ W
Nivel de energía	$L_E = 10.\log \frac{E_{ef}}{E_{ref}}$	$E_{ref} = 10^{-12}$ J
Nivel de densidad de energía	$L_D = 10.\log \frac{D_{ef}}{D_{ref}}$	$D_{ref} = 10^{-12}$ J/m^3
Nivel de aceleración vibratorio	$L_a = 10.\log \frac{a_{ef}}{a_{ref}}$	$a_{ref} = 10$ µm/s^2
Nivel de velocidad vibratorio	$L_v = 10.\log \frac{v_{ef}}{v_{ref}}$	$v_{ref} = 10$ nm m/s
Nivel de desplazamiento vibratorio	$L_d = 10.\log \frac{d_{ef}}{d_{ref}}$	$d_{ref} = 10$ pm
Nivel de fuerza vibratorio	$L_F = 10.\log \frac{F_{ef}}{F_{ref}}$	$F_{ref} = 1$ µN
Nivel de frecuencia	$L_{fr} = 10.\log \frac{f}{f_{ref}}$	$f_{ref} = 1$Hz

Tabla A.1 Niveles acústicos y valores de referencia.

A.3- COMPOSICIÓN DE NIVELES ACUSTICOS

Cuando varias fuentes sonoras producen en un punto del espacio presiones acústicas instantáneas $p_1(t)$, $p_2(t)$,...., $p_n(t)$, la presión acústica resultante es la suma de las presiones acústicas instantáneas de cada una de las fuentes, es decir:

$$p(t) = \sum_{i=1}^{i=n} p_i(t) \qquad \text{(A.10)}$$

El nivel de presión acústica se mide a partir de su valor eficaz

$$p_{ef}^2 = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \left(p_1(t) + p_2(t) + \ldots + p_n(t)\right)^2 .dt \qquad \text{(A.11)}$$

Cuando los sonidos que se superponen son de frecuencias distintas, y proceden de fuentes incoherentes, las integrales de los productos $p_i(t).p_j(t)$ son nulas, y el cuadrado de la presión acústica eficaz es la suma de los cuadrados de las presiones acústicas eficaces producidas por cada una de las fuentes:

$$p_{ef}^2 = p_{1ef}^2 + p_{2ef}^2 + ... + p_{nef}^2 \qquad (A.12)$$

En este caso, la composición de los sonidos se realiza de manera energética, y la intensidad acústica resultante en un punto es la suma de las intensidades de cada una de las fuentes incoherentes en ese punto. Por consiguiente:

$$I = I_1 + I_2 + ... + I_n \qquad (A.13)$$

En muchas situaciones, el nivel de presión acústica resultante en un punto no está producido por una sola fuente, y es de gran importancia el conocer la forma en que cada fuente influye en el resultado global. Teniendo en consideración que estamos utilizando unas escalas logarítmicas que no permiten la suma algebraica, el nivel de presión acústica resultante es:

$$L_p = 10.\log\left(\frac{p_{ef}}{p_0}\right)^2 = 10.\log\left(\sum \frac{p_{i,ef}^2}{p_o^2}\right) \qquad (A.14)$$

De la definición de nivel de presión acústica para una fuente j, obtenemos:

$$L_{p,j} = 10.\log\left(\frac{p_{j,ef}}{p_0}\right)^2 \quad \Rightarrow \quad \frac{p_{j,ef}^2}{p_0^2} = 10^{0,1L_{pj}}$$

Sustituyendo, el nivel de presión sonora resultante debido a todas las fuentes es:

$$L_p = L_1 \oplus L_2 \oplus ... \oplus L_n = 10.\log(\sum_{i=1}^{i=n} 10^{0,1L_{pi}}) \quad dB \qquad (A.15)$$

Existen otras situaciones en las que la composición de niveles no puede realizarse de forma energética y hay que tener en consideración los efectos de la interferencia de las ondas. Por ejemplo en la propagación del sonido al aire libre hay que tener en cuenta el efecto del suelo. Cuando en el exterior el sonido se propaga entre la fuente emisora y el receptor el sonido directo y el reflejado por el suelo son de la misma frecuencia y tienen una diferencia de recorrido constante en cada punto de recepción, produciéndose interferencias constructivas o destructivas. Desde hace años, un campo de investigación acústica muy importante es el control activo del ruido. Se fundamenta en que es posible reducir o eliminar un ruido, emitiendo, mediante un altavoz, otro ruido de características semejantes al primero, pero en contrafase.

EJERCICIO A.1

Una fuente sonora produce en un punto un nivel L_p, ¿en cuánto aumenta el nivel, si la fuente duplica la presión sonora eficaz en el punto de medida?

SOLUCIÓN

$$L_p' = 20\lg\frac{2p_1}{p_{ref}} = 20\lg 2 + 20\lg\frac{p_1}{p_{ref}} = L_p + 6 \quad dB$$

EJERCICIO A.2

Una fuente sonora produce un nivel de presión sonora L_p en un punto.¿ En cuánto se incrementa el nivel de presión sonora en dicho punto, si emiten simultáneamente N fuentes sonoras que producen el mismo nivel de presión sonora en el punto?

SOLUCIÓN

La presión sonora resultante es la suma de las presiones sonoras

$$L_p = 10\lg\frac{Np_i^2}{p_{ref}^2} = 10\lg\frac{p_i^2}{p_{ref}^2} + 10\lg N = L_{p_i} + 10\lg N \quad dB$$

A.4.- LAS MEDIDAS ACÚSTICAS EN AMBIENTES RUIDOSOS. LA CORRECCIÓN POR RUIDO DE FONDO O RESIDUAL

Cuando queremos medir el nivel de presión acústica producida por una fuente sonora en particular, ruido específico, llamamos ruido de fondo, ruido ambiental o residual, al producido por otras fuentes distintas a ella. De forma ideal, la medición de los niveles acústicos producidos por las fuentes sonoras debería ser realizada en ausencia de ruidos de fondo significantes, pero esto no suele ser lo habitual, y hay que tener en cuenta las correcciones por el ruido de fondo.

Para determinar el nivel de presión acústica producido por una fuente, $L_{p(F)}$, en presencia de un nivel de ruido de fondo, $L_{p\,(RF)}$, se puede obtener conociendo el nivel combinado de la fuente y el ruido de fondo, $L_{p\,(F+RF)}$.

A partir de la relación entre las presiones eficaces

$$p_{F+RF}^2 = p_F^2 + p_{RF}^2 \qquad \text{(A.16)}$$

donde

p_F es la presión acústica eficaz de la fuente sin ruido de fondo

p_{RF} es la presión acústica eficaz del ruido de fondo o residual, fuente sin funcionar

p_{R+RF} es la presión acústica eficaz total con la fuente funcionando.

De la definición de nivel de presión acústica se obtienen las siguientes expresiones:

$$L_{p(F+RF)} = 10.\log\left(10^{0,1L_{p(F)}} + 10^{0,1L_{p(F+RF)}}\right) \ dB; \quad ref\,2.10^{-5}\,Pa \qquad \text{(A.17)}$$

$$L_{p(F)} = 10.\log\left(10^{0,1L_{p(F+RF)}} - 10^{0,1L_{p(RF)}}\right) \ dB; \quad ref\,2.10^{-5}\,Pa \qquad \text{(A.18)}$$

La última expresión se puede utilizar siempre que la diferencia $L_{p\,(F+RF)}$.- $L_{p\,(RF)}$, > 3 dB, pues una diferencia de menos de 3 dB indica que el nivel de la fuente es menor que el ruido de fondo. Si la diferencia es superior a 10 dB, el ruido de fondo no se tiene en consideración.

EJERCICIO A.3

El nivel de presión sonora global lineal producido en un lugar de un recinto cuando un ventilador está funcionando es 84 dB y cuando el ventilador está desconectado el nivel de presión sonora residual es de 78 dB. Cuál es el nivel de presión sonora global producido por el ventilador?

SOLUCIÓN

$$L_{p(F)} = 10.\log\left(10^{0,1L_{p(F+RF)}} - 10^{0,1L_{p(RF)}}\right) \ dB; \quad ref\,2.10^{-5}\,Pa$$

$$L_{p(VENTILADOR)} = 10.\log\left(10^{8,4} - 10^{7,8}\right) = 82,7 \quad dB; \quad ref\,2.10^{-5}\,Pa$$

A.5- ANÁLISIS ESPECTRAL DEL SONIDO. RUIDO BLANCO Y RUIDO ROSA

Generalmente el sonido tiene una estructura compleja, e incluye gran parte de las frecuencias del rango audible. El análisis espectral del sonido consiste en la determinación de su contenido energético en función de la frecuencia. La medida de estos parámetros se realiza mediante analizadores espectrales, los cuales funcionan mediante el uso de filtros electrónicos que actúan sobre los intervalos de frecuencias predeterminados, valorando el contenido energético en ese intervalo. Estos intervalos de frecuencias se denominan bandas de frecuencia y están acotados por una frecuencia inferior y otra superior.

Las bandas normalizadas en acústica son de ancho de banda proporcional. Las más utilizadas son:

BANDAS DE OCTAVA

Una octava se define como una relación 2:1 entre dos frecuencias. Su expresión matemática es $\frac{f_2}{f_1} = 2^n$, donde f_2 es la frecuencia superior del intervalo, f_1 la frecuencia inferior y n el número de octavas. Cuando n = 1, se tiene la banda de octava, se caracteriza porque su frecuencia superior f_2 es siempre el doble de la inferior.

$$f_2 = 2\, f_1 \qquad \text{(A.19)}$$

La frecuencia central viene expresada por el valor medio geométrico de los valores extremos.

$$f_c = \sqrt{f_1 . f_2} = f_1 . \sqrt{2} \qquad \text{(A.20)}$$

y el ancho de banda es:

$$\Delta f = f_2 - f_1 \qquad \text{(A.21)}$$

BANDAS DE TERCIO DE OCTAVA

Son los tres intervalos consecutivos en que queda dividida una octava. En la definición de octavas, se sustituye n = 1/3.. Sus frecuencias de corte superior e inferior quedan relacionadas por:

$$\frac{f_2}{f_1} = \sqrt[3]{2}, \qquad f_2 = 1{,}26\, f_1, \qquad f_c = \sqrt{f_1 . f_2}$$

La medida de un sonido por bandas conduce a los niveles de presión o intensidad acústica ya descritos, pero limitando el valor de la banda correspondiente a dB/octava, dB/1/3, dB/Hz. De la misma forma se utilizan bandas de 1/12 y de 1/24 de octava.

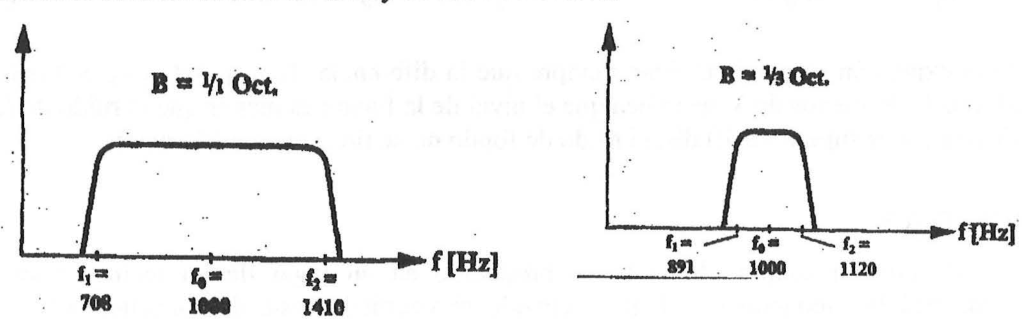


Figura A.1: Banda de frecuencia central a 1kHz en octavas y tercio de octavas

Una banda de octava es la yuxtaposición de tres bandas de tercio de octava. En consecuencia, un espectro en octavas no es posible transformarlo en un espectro en tercios de octava.

Bandas de octava		
Frecuencia inferior f_i; Hz	Frecuencia central, f_c; Hz	Frecuencia superior f_s; Hz
22,4	31,5	45
45	63	90
90	125	180
180	250	355
355	500	710
710	1000	1400
1400	2000	2800
2800	4000	5600
5600	8000	11200
11200	16000	22400

Tabla A.2: rangos de frecuencias en bandas de octava

Bandas de un tercio de octava		
Frecuencia inferior f_i; Hz	Frecuencia central, f_c; Hz	Frecuencia superior f_s; Hz
18,0	20	24,4
22,4	25	28,0
28,0	31,5	35,5
35,5	40	45
45	50	56
56	63	71
71	80	90
90	100	112
112	125	140
140	160	180
180	200	224
224	250	280
280	315	355
355	400	450
450	500	560
560	630	710
710	800	900
900	1000	1120
1120	1250	1400
1400	1600	1800
1800	2000	2240
2240	2500	2800
2800	3150	3550
3550	4000	4500
4500	5000	5600
5600	6000	7100
7100	8000	9000
9000	10000	11200
11200	12500	14000
14000	16000	18000
18000	20000	22400

Tabla A.3: Rangos de frecuencia en bandas de un tercio de octavas

RUIDO BLANCO

Se denomina así a un ruido de espectro continuo, que medido por bandas de Hz, dB/Hz, es constante en todo el rango audible, contiene todas las frecuencias con la misma amplitud. En una representación gráfica del nivel en función de la frecuencia, su representación será una recta paralela al eje de abcisas. Si el nivel de un ruido blanco lo representamos en bandas de un tercio de octava, su gráfica será una recta ascendente con una pendiente de 3dB/octava, pues en cada banda hay el doble de frecuencias que en la anterior.

RUIDO ROSA

Es un ruido de espectro continuo, cuyo nivel por bandas es constante. En una representación gráfica del nivel en función de la frecuencia en dB/Hz, la gráfica es una recta descendente de pendiente 3 dB/octava, pues cada banda tiene la mitad de frecuencias que la siguiente, ($10\log \frac{1}{2} = -3$).Cuando se emite un ruido rosa, el nivel medido en octavas es 5 dB superior al medido en tercios de octava, ($10 \log 3 = 5$).

Los ruidos rosa y blanco se utilizan para efectuar medidas acústicas normalizadas.

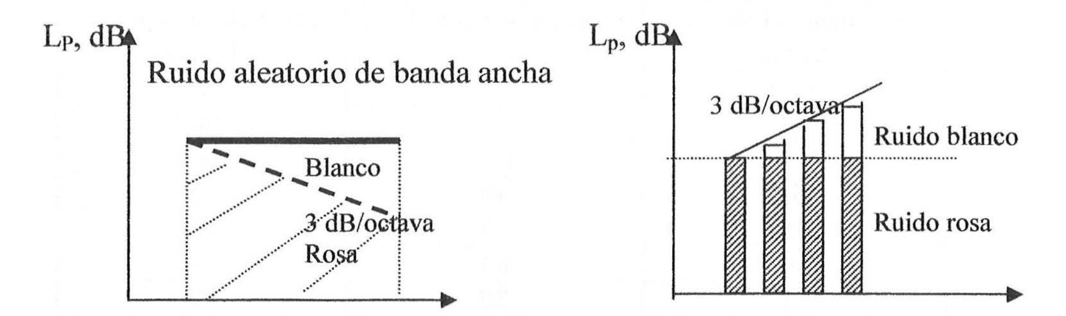


Figura A.2: Ruido aleatorio pasado a través de un filtro de ancho de banda de porcentaje constante

En la acústica de la edificación las frecuencias centrales preferentes son las siguientes:

1/3 OCTAVA Frecuencia central, Hz	1/1 OCTAVA Frecuencia central, Hz
100	
125	125
160	
200	
250	250
315	
400	
500	500
630	
800	
1000	1000
1250	
1600	
2000	2000
2500	
3150	
4000	4000
5000	

Tabla A.4: Bandas de frecuencia utilizadas en acústica en la edificación

A.6 - REDES DE PONDERACIÓN

A.6.1. - PONDERACIONES DE FRECUENCIA

Con la finalidad de que los instrumentos de medida utilizados en acústica tengan en cuenta la forma en que responde el oído humano ante el sonido, se introducen en ellos unas redes de ponderación en frecuencia, de forma que dependiendo de los tipos de sonidos incidentes sobre el instrumento de medida, este pondere la energía.

A lo largo de los años se han ido utilizando distintas redes de ponderación. Las ponderaciones frecuenciales normalizadas son las ponderaciones A y C especificadas en la norma IEC 61672-

1. Se ha demostrado que independientemente del nivel sonoro, para la mayoría de los ruidos, tanto la molestia, como la peligrosidad para el órgano de la audición, quedan mejor determinados cuando se emplea en la medición la red de ponderación frecuencial A, por lo que su uso es el más general. La ponderación frecuencial A se utiliza para compensar las diferencias de sensibilidad que el oído humano muestra para las diferentes frecuencias del campo auditivo. Es una aproximación con signo negativo de la curva de nivel de sonoridad igual a 40 fonios.

La red de ponderación C se utiliza en el etiquetado de máquinas, al ser prácticamente plana en todo su espectro.

Al dar los resultados de la medida hay que indicar la red de ponderación frecuencial que se ha utilizado.

Frecuencia central, Hz	Corrección, dB	
	A	C
10	-70,4	-14,3
12,5	-63,4	-11,2
16	-56,7	-8,5
20	-50,5	-6,2
25	-44,7	-4,4
31,5	**-39,4**	-3,0
40	-34,6	-2,0
50	-30,2	-1,3
63	**-26,2**	-0,8
80	-22,5	-0,5
100	-19,1	-0,3
125	**-16,1**	-0,2
160	-13,4	-0,1
200	-10,9	0
250	**-8,6**	0
315	-6,6	0
400	-4,8	0
500	**-3,2**	0
630	-1,9	0
800	-0,8	0
1000	**0**	0
1250	+0,6	0
1600	+1,0	-0,1
2000	**+1,2**	-0,2
2500	+1,3	-0,3
3150	+1,2	-0,5
4000	**+1,0**	-0,8
5000	+0,5	-1,3
6000	-0,1	-2,0
8000	**-1,1**	-3,0
10000	-2,5	-4,4
12500	-4,3	-6,2
16000	**-6,6**	-8,5
20000	-9,3	-11,2

TABLA A.5: Ponderaciones normalizadas A y C de filtros de frecuencias

Procedimiento para el cálculo de niveles globales ponderados A

El nivel de presión acústica ponderado A se define mediante la fórmula:

$$L_{pA} = 10\lg(\frac{p_A}{p_0})^2 \quad dB \qquad (A.22)$$

En cada banda de frecuencia se aplica la corrección correspondiente a la red de ponderación A y se componen los resultados obtenidos en todas las bandas. Por ejemplo para obtener el nivel global ponderado A, se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$L_{pA} = 10.\log(\sum 10^{0,1\,(Li+Ai)})\ dB,\ ref\,2.10^{-5}\ Pa \qquad (A.23)$$

donde: L_i es el nivel de presión acústica en la banda i; A_i es la ponderación espectral A en esa banda.

EJERCICIO A.4
Los niveles de presión sonora de la palabra de un orador con esfuerzo vocal normal, a un metro de su boca en bandas de octava son los siguientes

Frecuencia central, Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_p, dB	55,5	59,5	60,0	54,5	49,0	43,5	38,0

Hallar los niveles globales de emisión en dB y en dB ponderados A.
SOLUCIÓN

Nivel global en dB

$$L_p = 10.\log\left(10^{5,55} + 10^{5,95} + ... + 10^{3,8}\right) = 64,2 \quad dB$$

Nivel global ponderado A

Frecuencia, Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_p, dB	55,5	59,5	60,0	54,5	49,0	43,5	38,0
Corrección A, dB	-16,1	-8,6	-3,2	0	+ 1,2	+ 1	- 1,1
L_{pA}, dB	39,4	50,9	56,8	54,5	50,2	44,5	36,9

$$L_{pA} = 10.\log\left(10^{3,94} + 10^{5,09} + ... + 10^{3,69}\right) = 60,1 \quad dB$$

A.6.2. - PONDERACIONES TEMPORALES

La mayoría de los sonidos que se miden en la práctica tienen variaciones temporales. Para una medida adecuada hay que medir estas variaciones con la mayor precisión posible. Las ponderaciones temporales normalizadas más utilizadas se identifican mediante los nombres Rápida, F(Fast), Lenta, S (Slow) e Impulso, I. La ponderación rápida tiene una constante de tiempo de 125 ms, la lenta de 1 s y la de impulso de 35 ms para sonidos que aumentan con el tiempo y de 1,5 s para sonidos que disminuyen con el tiempo. La elección de la ponderación temporal depende de la estabilidad del sonido, de los requisitos de las normas de medición, etc. Se suelen representar:

- L_{AFMax}, L_{ASMax}, L_{AIMax}, son los niveles máximo de ruido ponderado A medidos con ponderación temporal rápida F, lenta, S o impulso, I: Son los niveles sonoros más altos que se producen durante el tiempo de medición.

- L_{AFMin}, L_{ASMin}, L_{AIMin}: son los niveles mínimos de ruido ponderado A medidos con ponderación temporal rápida F, lenta, S o impulso, I: Son los niveles sonoros mínimos que se producen durante el tiempo de medición.

Las ponderaciones temporales normalizadas son las ponderaciones F y S especificadas en la Norma IEC 61672-1.

A.7 - ÍNDICES DE VALORACIÓN DEL RUIDO

Dado que el sonido es una forma de energía, el daño auditivo potencial de un ambiente sonoro dado, no depende únicamente de su nivel, sino también de su duración. Para valorar el daño auditivo potencial de un ambiente sonoro, se deben medir y combinar el nivel sonoro y la duración de la exposición al ruido, para poder determinar el nivel de energía recibida.

Los ruidos pueden ser continuos, intermitentes, impulsivos, tonales, de baja frecuencia, etc. Para medir el ruido es necesario conocer el tipo de ruido, con ello se pueden elegir los parámetros acústicos a medir, la duración de las mediciones y la instrumentación acústica adecuada.

El carácter variable en el tiempo de la mayoría de los ruidos, obliga a definir unos índices que permitan asignar un valor representativo de la respuesta humana a dicha variación temporal. A continuación se definen algunos de los más habituales.

NIVEL DE PRESIÓN SONORA CONTINUO EQUIVALENTE

Se define como el nivel de presión sonora medido en dB, de un ruido permanente que a lo largo de un intervalo de tiempo determinado, tiene la misma energía que el ruido real de nivel variable que se quiere evaluar, durante el mismo intervalo de tiempo. Matemáticamente se expresa como el nivel eficaz del sonido en el intervalo de medida.

$$L_{eq,T} = 10.\log \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_{ef}^2}{p_0^2} dt \quad \text{dB}, \qquad p_0 = 20\mu\text{Pa} \qquad \text{(A.24)}$$

Generalmente se expresa con la ponderación A, y se escribe $L_{Aeq,T}$, donde T es el intervalo de tiempo de medida.

$$L_{Aeq,T} = 10\log\left[\frac{1}{T}\int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt\right] \quad dB, \quad p_0 = 20\mu Pa \qquad \text{(A.25)}$$

$p_A(t)$ es la presión sonora cuadrática media ponderada A durante el funcionamiento de la fuente, t; $p_0 = 20$ µPa, es la presión acústica de referencia.

En la práctica, si no se dispone de un sonómetro que realice la medida directamente, en el caso de N intervalos en los cuales el ruido puede considerarse como constante en cada intervalo temporal, ± 2 dB, se puede utilizar la siguiente expresión:

$$L_{Aeq,T} = 10.\log\left(\frac{\sum_{i=1}^{N} t_i.10^{0,1L_{pAi}}}{T}\right) \quad dB \quad p_0 = 20\mu\text{Pa} \qquad \text{(A.26)}$$

en la cual t_i es el tiempo que está presente el nivel L_{pAi} y T es el intervalo de tiempo en el que se quiere calcular el nivel de presión sonora continuo equivalente.

La utilización del $L_{Aeq,T}$ está recomendada cuando el nivel sonoro es fluctuante y se desea conocer el valor medio de la exposición a lo largo de un intervalo de tiempo. Se utiliza para evaluar las molestias por exposición a ruidos, criterios de exposición ocupacional, evaluación de ruidos de tráfico, etc.

NIVEL DE EXPOSICIÓN SONORA.

El nivel de exposición sonora de un suceso de ruido discreto, se define como un sonido de nivel constante que actúa durante un segundo y que tiene la misma cantidad de energía sonora que el sonido original en un intervalo de tiempo T. Para la ponderación A en frecuencia se expresa:

$$L_{AE} = 10.\log(\frac{1}{T_0}\int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2}dt) \quad dB, \ p_0 = 20\mu Pa \qquad (A.27)$$

donde: T_0, es el tiempo de referencia de 1 segundo, $p_A(t)$ es la presión sonora instantánea ponderada A, p_0 es la presión de referencia 2.10^{-5} Pa, y T es el intervalo de tiempo establecido que abarca los sonidos significantes de un evento elegido.

Es un índice útil para calcular los niveles sonoros que resultan de cualquier combinación de fuentes sonoras y está especialmente indicado para la evaluación de sucesos tales como sobrevuelos de aeronaves, paso de trenes, etc.

Para un único suceso acústico, el nivel de presión sonora continuo equivalente en un intervalo T, está relacionado con el nivel de exposición sonora, mediante la siguiente expresión:

$$L_{Aeq,T} = L_{AE} - 10.\log\frac{T}{T_0} \qquad (A.28)$$

donde todos los intervalos de tiempo están medidos en segundos.

En la descripción de ruidos comunitarios son habituales los niveles sonoros continuos equivalentes que se definen para diferentes intervalos horarios. Los intervalos de tiempo de referencia para evaluar el ruido se suelen especificar en las diferentes normas locales, nacionales o internacionales. Para describir el ruido medioambiental se suelen utilizar intervalos de tiempo a largo plazo, en los cuales se promedia o evalúa el ruido de una serie de intervalos de referencia. En el caso de evaluaciones a largo plazo y para uso del suelo, se utilizan intervalos temporales que representan una fracción significativa de un año, por ejemplo: 3 meses, 6 meses, 1 año.

NIVEL SONORO DÍA

Es el nivel de presión sonora continuo equivalente medido para horas diurnas, entre las 7 de la mañana y las 23 horas, se escribe $L_{Aeq,\ día}$ o L_d. Puede medirse con un sonómetro integrador o calcularse a partir de los niveles sonoros continuos equivalentes de cada hora, según la expresión:

$$L_d = 10.\log\left\{\left(\frac{1}{16}\right)\left[\sum_{i=7}^{i=23} 10^{0,1L_{1h}(i)}\right]\right\} \quad dB \qquad (A.29)$$

los dieciséis niveles sonoros promedio están medidos entre las 7 de la mañana y las 11 de la noche, se mide de 7 a 8, 8 a 9, etc.

NIVEL SONORO TARDE

El nivel sonoro tarde, L_e, es el nivel sonoro continuo equivalente medido de siete de la tarde a once de la noche, (19-23 h) o calculado a partir de los niveles sonoros continuos equivalentes de ese intervalo horario, de acuerdo con la expresión:

$$L_e = 10.\log\left\{\left(\frac{1}{4}\right)\left[\sum_{i=19}^{i=23} 10^{0,1L_{1h}(i)}\right]\right\} \quad dB \qquad (A.30)$$

NIVEL SONORO NOCHE

Es el nivel de presión sonora continuo equivalente medido para horas nocturnas, entre las 23 horas y las 7 de la mañana. Se escribe $L_{Aeq,\ noche}$ o L_n. Puede medirse con un sonómetro integrador o calcularse a partir de los niveles sonoros continuos equivalentes de cada hora, según la expresión:

$$L_n = 10.\log\left\{\left(\frac{1}{8}\right)\left[\sum_{i=23}^{i=7} 10^{0,1L_{1h}(i)}\right]\right\} \quad dB \qquad (A.31)$$

NIVEL SONORO DE 24 HORAS

Es el nivel de presión sonora continuo equivalente medido para 24 horas, se escribe $L_{Aeq,24h}$ o L_{24h} . Puede calcularse a partir de los niveles sonoros continuos equivalentes de cada hora, según la expresión:

$$L_{Aeq,24h} = 10.\log\left\{\left(\frac{1}{24}\right)\left[\sum_{i=1}^{i=24} 10^{0,1L_{1h}(i)}\right]\right\} \quad dB \qquad (A.32)$$

También puede calcularse a partir del nivel sonoro día, L_d, calculado sobre 16 horas (7 a 23 h) y el nivel sonoro noche, L_n , sobre las restantes 8 horas.

NIVEL SONORO CORREGIDO DÍA-NOCHE

Es el nivel de presión sonora continuo equivalente durante 24 horas, que incluye un incremento de 10 dB al nivel nocturno, comprendido entre las 22 h y las 7 horas. Este descriptor, ha sido aceptado ampliamente en los países occidentales, incluyendo al ruido aéreo y al de tráfico.

El nivel sonoro corregido día-noche L_{dn} , en dB, puede ser calculado del conjunto de los 24 niveles sonoros correspondientes a cada hora, mediante la expresión:

$$L_{dn} = 10.\log\left\{\frac{1}{24}\left[\sum_{i=22}^{i=7} 10^{0,1(L_{1h(i)}+10)} + \sum_{i=8}^{i=22} 10^{0,1L_{1h(i)}}\right]\right\} \quad dB \qquad (A.33)$$

NIVEL DÍA-TARDE-NOCHE L_{den}

El nivel sonoro día-tarde-noche o nivel equivalente de ruido comunitario, L_{den} se utiliza para regular el ruido en las comunidades. Es el nivel sonoro continuo equivalente ponderado A para 24 horas, obtenido después de añadir 5 dB a los niveles sonoros comprendidos entre las 19 y 23 horas, y 10 dB a los niveles sonoros entre las 23 y 7 horas. Se puede calcular mediante los niveles sonoros horarios, sustituyendo en la expresión:

$$L_{den} = 10\log\frac{1}{24}(12.10^{0,1L_d} + 4.10^{0,1(L_e+5)} + 8.10^{0,1(L_n+10)}) \quad dB \qquad (A.34)$$

En España según el RD 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental se utiliza este índice de ruido día-tarde-noche.

- L_d es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996 2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos diurnos de un año.

- L_e es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996 2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos vespertinos de un año.

- L_n es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996 2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos nocturnos de un año.

Donde al día le corresponden 12 horas, a la tarde, 4 horas y a la noche, 8 horas. La administración competente puede optar por reducir el período vespertino en una o dos horas y alargar los períodos diurno y/o nocturno en consecuencia, siempre que dicha decisión se aplique a todas las fuentes. Por defecto los intervalos horarios son: día (7.00 –19.00), tarde (19.00 – 23.00) y noche (23.00 – 7.00)), en la hora local.

La altura del punto de evaluación del L_{den} depende de la aplicación. Para la confección de mapas de ruido estratégicos en relación con la exposición al ruido en el interior y en las proximidades de edificios, los puntos de evaluación se sitúan a 4 ± 0,2 m (3,8 – 4,2 m) de altura sobre el nivel del suelo en la fachada más expuesta. La fachada más expuesta será el muro exterior más próximo frente a la fuente sonora; en los demás casos, podrán decidirse otras opciones.

Indicador de ruido en período nocturno

El indicador de ruido en período nocturno L_n es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996 2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos nocturnos de un año. Donde la noche dura 8 horas.

NIVELES PERCENTILES.

Las fluctuaciones de los niveles sonoros del ruido en el transcurso del tiempo tienen una influencia considerable en las molestias y en el riesgo que puede producir a las personas expuestas, por ello se estudia su variación temporal en el ruido de tráfico rodado, ferrocarriles, aeronaves y en el ruido ocupacional.

Los índices más utilizados en los análisis estadísticos son los niveles percentiles, $L_{AN,T}$, su fundamento es suponer que los ruidos siguen una distribución gaussiana. Son descriptores estadísticos que se utilizan para complementar la información aportada por el $L_{Aeq,\ T}$ cuando el ruido presenta una evolución aleatoria.

El nivel percentil, N, es el nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo superado en el N% del intervalo de tiempo considerado, expresado en dB.

Los más utilizados son: L_{A1}, L_{A5}, L_{A50}, L_{A95} y L_{A99}. Al realizarse las mediciones se debe indicar la ponderación temporal, generalmente la rápida, F, por ello se suelen escribir $L_{AFN,T}$

Ejemplo: $L_{AF90,1h}$ es el nivel de presión sonora con ponderación temporal F y ponderado en frecuencia A, superado en el 90% de una hora de medición.

A.8.- INCERTIDUMBRES EN LAS MEDICIÓNES ACÚSTICAS

Cuando se realizan mediciones sobre ciertas cantidades, los valores medidos son conocidos únicamente dentro de los límites de la incertidumbre experimental. El valor de la incertidumbre puede depender de varios factores tales como la calidad de los aparatos, la destreza del experimentador y el número de mediciones realizadas.

Un proceso de medición produce un resultado de medida que es en principio independiente del método de medida y del proceso. La incertidumbre puede ser distinta, en función de los medios utilizados, pero el mensurando, (magnitud particular objeto de la medición) tiene sentido independientemente del método aplicado para su cálculo.

El concepto de incertidumbre ha evolucionado en profundidad en los últimos treinta años. En un primer momento se definía como la cuantificación del error probable; a su vez, el error se definía como la desviación entre el valor observado y el valor verdadero. El concepto de incertidumbre se confundía con el de precisión, término este que ha generado siempre confusión y ambigüedad. Hoy el término precisión se utiliza en ingles y español, como sinónimo del francés fidélité, concepto normalizado ISO.

El objetivo era estimar donde podía situarse el valor verdadero a partir de uno o varios valores observados. En la práctica, se efectuaban cálculos de error acudiendo a combinaciones lineales de errores máximos. Luego se obtenían intervalos de confianza, construidos alrededor de la media de los valores observados, que contenían con gran probabilidad el valor verdadero.

Definición actual de incertidumbre: parámetro que caracteriza la dispersión de los valores que pueden ser razonablemente atribuidos al mensurando. (1993).

Es importante conocer la naturaleza radicalmente diferente de los conceptos de error e incertidumbre.

El error es la diferencia entre el valor anunciado (el resultado de la medición o el ensayo) y el valor verdadero o convencionalmente verdadero.

La incertidumbre cuantifica la naturaleza aleatoria de los valores atribuidos al mensurando o a la característica ensayada. (Característica es el resultado de un ensayo): cuando se repite una medición o un ensayo, el resultado no es estrictamente idéntico. Esta dispersión de los resultados, es decir la dispersión de los valores que puedan ser razonablemente atribuidos al mensurando, se cuantifica mediante la incertidumbre.

Está aceptado por la comunidad científica que, cuando se han estimado la totalidad de las componentes del error, conocidos o sospechados, y cuando se han aplicado las correcciones adecuadas, sigue subsistiendo una incertidumbre sobre el resultado anunciado.

La incertidumbre debida a una instrumentación acústica clase 1 (IEC61672-1:2002) es 1,0 dB.

Ejemplo: Incertidumbre en las mediciones acústicas ambientales

La incertidumbre de los niveles de presión sonora medidos depende de la fuente sonora y del intervalo de medida, de las condiciones atmosféricas, de la distancia de la fuente, del método de medida y de la instrumentación.

Visión de conjunto de la incertidumbre de medida para el L_{Aeq}

Incertidumbre standard				Incertidumbre standard combinada	Incertidumbre de medida expandida
Debido a la instrumentación [a]	Debido a las condiciones operacionales[b]	Debido a las condiciones atmosféricas y del suelo [c]	Debido al sonido residual [d]	$\sigma_t = \sqrt{1,0^2 + X^2 + Y^2 + Z^2}$	$\pm 2,0\sigma_t$ dB
1,0 dB	X dB	Y dB	Z dB	dB	

[a] Para instrumentación clase 1 IEC61672-1:2002. Si es otra clase de instrumentación IEC61672-1:2002 clase 2 o IEC 60651:2001/IEC 60804:2000 sonómetros tipo 1, o se han utilizado micrófonos direccionales, el valor será mayor.
[b] Será determinado por al menos tres, y preferiblemente cinco medidas bajo condiciones de repetibilidad (el mismo procedimiento de medida, los mismos instrumentos, el mismo operador, el mismo lugar) y en una posición donde las variaciones de las condiciones meteorológicas tengan poca influencia en los resultados. Para medidas a largo plazo, se requieren

más medidas para determinar la desviación standard de la repetibilidad. [c] Los valores varían dependiendo de la distancia de medida y las condiciones meteorológicas imperantes. [d] El valor varía dependiendo de la diferencia entre los valores totales medidos y el sonido residual.

El redondeo en los resultados de las mediciones acústicas

Las diferentes normas ISO 140 indican que los resultados se deben registrar con una cifra decimal. Sin embargo, si los valores en bandas de octava o en bandas de un tercio de octava se han registrado con más de un decimal, los valores se han de reducir para que tengan un decimal antes de utilizarlos en el cálculo del índice expresado con un único número. Esto se realiza tomando el valor en décimas de dB más cercano a los valores indicados: XX,XYZZ se redondeará a XX,X si Y es menor a 5 y a XX,X+0,1 si Y es igual o mayor a 5. En los programas de software se debe garantizar que esta reducción a aplica a los valores de entrada reales y no únicamente a la precisión mostrada, como aparece en pantalla o impreso sobre papel.

EJERCICIO A.5

Los niveles de presión acústica medidos en un punto de un local están producidos por las fuentes sonoras F1 y F_2. Sus valores son los que se muestran en la tabla adjunta.

Frecuencia central 1/1 octava, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
F_1, Lp_1, dB	70	70	65	60	55	50
F_2, Lp_2, dB	50	55	60	65	70	70

Calcúlense en el mismo punto del local: 1) los niveles de presión sonora global lineal y ponderado A producidos por cada una de las fuentes sonoras de forma individual; 2) los niveles de presión sonora global lineal y ponderado A producidos cuando las dos fuentes sonoras actúan simultáneamente.

SOLUCIÓN: $L_{P1} = L_{P2}$ 73,9 dB; $L_{P1A} = 66,7$ dB; $L_{P2A} = 74,7$ dB;

$L_{p1} \Theta L_{p2} = 76,9$ dB; $L_{p1A} \Theta L_{p2A} = 75,3$ dB

EJERCICIO A.6

Determínese el L_{Aeq} de una jornada de un estudiante en la Universidad. Durante su estancia en el recinto universitario está sometido a diferentes niveles sonoros continuos equivalentes, durante los intervalos de tiempo que se muestran en la tabla siguiente:

Actividad	Duración, minutos	$L_{Aeq,}$ actividad, dB
Clases	300	55
Pasillos	40	65
Cafetería	20	70
Biblioteca	120	45

SOLUCIÓN: $L_{Aeq,\,8h} = 59,5$ dB

EJERCICIO A.7

A dos metros de la fachada de un edificio el L_{Aeq} producido por el paso de un tren de cercanías es 80 dB y el tiempo de paso es 20 segundos. En la zona el nivel sonoro continuo equivalente producido por otras fuentes sonoras es 55 dB. Si circulan 25 trenes cada hora, ¿cuál será el $L_{Aeq,\,hora}$? ¿Y si se duplica el número de trenes en ese intervalo horario?

SOLUCIÓN:

Nivel sonoro continuo equivalente al circular 25 trenes: $L_{Aeq,1h} = 71,5$ dB

Nivel sonoro continuo equivalente al duplicar el número de trenes: $L_{Aeq,1h} = 74,5$ dB

EJERCICIO A.8

Los niveles de presión acústica medidos en un punto de un taller con una máquina en funcionamiento y posteriormente desconectada son los siguientes:

Frecuencia central 1/1 octava, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_p, máquina funcionando, dB	98	94	90	90	86,5	84,2	76,1	73,2
L_p, máquina desconectada, dB	95	90	85	87	83	80,1	74	69,8

Calcúlense los niveles de presión acústica de la máquina global lineal y ponderado A.

SOLUCIÓN: L_p = 98 dB; L_{pA} = 89,3 dB

EJERCICIO A.9

En una calle de una ciudad se han medido durante 24 horas, a 4 m del suelo, los niveles sonoros continuos equivalentes horarios que se muestran en la tabla siguiente:

Hora	$L_{Aeq,\ 1\ h}$, dB	Hora	$L_{Aeq,\ 1\ h}$, dB	Hora	$L_{Aeq,\ 1\ h}$, dB
0:00:00	63	8:00:00	62,5	16:00:00	61,5
1:00:00	57,8	9:00:00	63,1	17:00:00	61,6
2:00:00	59,9	10:00:00	64,7	18:00:00	60,8
3:00:00	56,4	11:00:00	64,6	19:00:00	61,9
4:00:00	55,9	12:00:00	61,9	20:00:00	61,9
5:00:00	56,1	13:00:00	62,7	21:00:00	63,1
6:00:00	58,6	14:00:00	63,4	22:00:00	64,3
7:00:00	60,6	15:00:00	61,2	23:00:00	61,5

Hállense los valores de los índices de valoración del ruido: $L_{Aeq,\ 24\ h}$ y L_{den}.

SOLUCIÓN: $L_{Aeq,\ 24\ h}$ = 61,6 dB; L_{den} = 66,8 dB

BIBLIOGRAFÍA

- Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002
- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido;
- RD 1513/2005, de 16 de diciembre
- RD 1367/2007, de 19 de octubre.
- RD 1371/2007, de 19 de octubre por el que se aprueba el DB HR Protección frente al ruido del CTE.
- UNE-ISO 1996-1 (junio 2005). Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. . Parte 1: magnitudes básicas y métodos de evaluación. (ISO 1996-1:2003).
- ISO 1996-2 (marzo 2007). Acoustics- Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 2: Determination of environmental noise levels.
- ISO 9613-1., Acoustics- Attenuation of sound during propagation outdoors- Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere.
- ISO 9613-2., Acoustics- Attenuation of sound during propagation outdoors- Part 2: General method of calculation
- UNE EN ISO 354, Febrero 2004. Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante. (ISO 354: 2003)
- UNE EN ISO 3382:2001. Acústica. Medición del tiempo de reverberación de recintos con referencia a otros parámetros acústicos (ISO 3382: 1997).
- UNE-EN ISO 140-3:-Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 3: Medición en laboratorio del aislamiento acústico a ruido aéreo de los elementos de construcción.
- UNE-EN ISO 140-4:- Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 4: Medición *in situ* del aislamiento a ruido aéreo entre locales.
- UNE-EN ISO 140-5: Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte5: Mediciónes in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de fachada y de fachadas

- UNE-EN ISO 140-10: Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 10: Medición en laboratorio del aislamiento a ruido aéreo de los elementos de construcción pequeños.
- UNE-EN ISO 140-14: Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 14. Directrices para situaciones especiales in situ. (ISO 140-14: 2004).
- UNE-EN ISO 140-16: Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 16. Medición en laboratorio de la mejora del índice de reducción acústica por un revestimiento (ISO 140-16: 2006).
- UNE-EN ISO 717-1: 1996. Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo.
- UNE-EN ISO 717-1: Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo. Modificación 1: Normas de redondeo asociadas con los índices expresados por un único número y con las magnitudes expresadas por un único número. (ISO 717-1:1996/AM 1:2006)
- EN ISO 140-6- Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 6: Mediciones en laboratorio del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos.
- EN ISO 140-7- Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte7: Medición in situ del aislamiento acústico de suelos a ruido de impactos.
- EN ISO 140-8 - Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 8: Medición en laboratorio de la reducción del ruido de impactos transmitido a través de revestimiento de suelos sobre forjado normalizado pesado.
- EN ISO 140-11 - Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte11: Medición en laboratorio de la reducción del ruido de impactos transmitido a través de revestimientos de suelos sobre suelos de referencia (ISO 140-11: 2005)
- EN ISO 140-12 - Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte12: Medición en laboratorio de aislamiento al ruido aéreo y de impactos entre locales con suelo registrable. (ISO 140-12:2000).
- UNE-EN ISO 717-2:1996. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 2: Aislamiento a ruido de impactos.

- UNE-EN ISO 717-2: Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 2: Aislamiento a ruido de impactos. Modificación 1 (ISO 717-2:1996/AM 1:2006).

CUADERNO

294.01

cuadernos.ijh@gmail.com
info@mairea-libros.com

ISBN 978-84-9728-314-4

9 788497 283144 >